



Duurzaamheidonderzoek hergebruik boogbrug Vianen

Definitief rapport

Rijkswaterstaat

15 augustus 2017

Project Duurzaamheidonderzoek hergebruik boogbrug Vianen
Opdrachtgever Rijkswaterstaat

Document Definitief rapport
Status Definitief
Datum 15 augustus 2017
Referentie 103073/17-011.567

Projectcode 103073
Projectleider ir. R. Dijcker
Projectdirecteur ing. M. Kraneveld

Auteur(s) C.F. Teeuw MSc, ir. R. Dijcker
Gecontroleerd door ir. R. Eijsbouts
Goedgekeurd door ir. R. Dijcker

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	Achtergrond van de sloop van de Boogbrug Vianen	7
1.2	Hoogwaardig hergebruik	7
1.3	De doelstelling van het project	8
1.4	Onderzoekshypothesen	8
1.5	Uitgangspunten	8
1.6	Leeswijzer	9
2	METHODE	10
2.1	Inventarisatie beschikbare informatie	11
2.2	Visuele inspectie en decompositie	11
2.3	Bepalen huidige staat en hergebruikmogelijkheden	11
2.4	Uitwerking scenario's	12
2.5	Indicatieve bepaling van de duurzaamheidwinst en kosten	12
3	INVENTARISATIE VAN MOGELIJKHEDEN VOOR HERGEBRUIK	14
3.1	Beschrijving van de brug op hoofdlijnen	14
3.1.1	Historische informatie	14
3.1.2	Hoofdindeling	15
3.1.3	Massabalans	15
3.2	Decompositie en conditiemeting op basis van NEN2767-1	16
3.2.1	Decompositie	16
3.2.2	Conditie	16
3.3	Inschatting mogelijkheden hergebruik hoofdonderdelen van de brug	18
3.4	Inschatting mogelijkheden hergebruik losse elementen	19
4	BESCHRIJVING SCENARIO'S	21
4.1	Vier scenario's	21
4.2	Scenario 0 - conventionele sloop en recycling	22
4.2.1	Hoofdoverspanning	23
4.2.2	Aanbruggen	24

4.2.3	Afgevoerde materialen	24
4.2.4	Wat gebeurt er met de materialen?	25
4.3	Scenario 1	26
4.3.1	Algemeen	26
4.3.2	Randvoorwaarden	27
4.3.3	Kanttekeningen	28
4.4	Scenario 2	29
4.4.1	Algemeen	29
4.4.2	Randvoorwaarden	29
4.4.3	De oude brug moet te demonteren zijn	30
4.4.4	Hijzen en vervoer	30
4.4.5	Opwaarderen	31
4.4.6	Montage van de onderdelen	31
4.4.7	Kanttekeningen	31
4.5	Scenario 3	32
4.5.1	Algemeen	32
4.5.2	Gestandaardiseerde constructiematerialen	32
4.5.3	De oude brug moet te demonteren zijn	33
4.5.4	Hijzen en vervoer	33
4.5.5	Opwaarderen	33
4.5.6	Kanttekeningen	33
4.6	Mate van materiaal hergebruik en waardebehoud per scenario	33
5	INDICATIEVE BEPALING VAN DUURZAAMHEIDWINST EN KOSTEN	35
5.1	Onderscheidende activiteiten en materialen aanwijzen	35
5.2	Massabalans verdelen over de decompositie	36
5.3	Kentallen	36
5.3.1	Kentallen staal	37
5.3.2	Kentallen beton	38
5.3.3	Correctie voor de levensduur	38
5.4	Uitkomsten	38
5.5	CO ₂ -besparing uitgedrukt in transportafstand	39
6	LEERERVARINGEN EN DISCUSSIE	40
6.1	Algemeen: mindshift van nieuwbouw naar hergebruik	40
6.2	Informatievergaring ten behoeve van de inventarisatie naar de mogelijkheden van hergebruik	41
6.3	Bepaling van duurzaamheidwinst en kosten van varianten	42
6.4	Circulair ontwerp	43

7	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	44
7.1	Conclusies	44
7.2	Hypothesen	45
7.2.1	Decompositie	45
7.2.2	Mogelijk van hergebruik	46
7.2.3	Hergebruik: duurzamer dan recycling?	46
7.2.4	CO ₂ -reductie als indicator	46
7.3	Aanbevelingen	47
	Laatste pagina	47
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Overzichtfoto's	7
II	Massabalans	1
III	a Decompositie hoofbrug b Decompositie fietsbrug c Overzicht inventarisatie hergebruik mogelijkheden gecombineerde elementen fietsbrug	3
IV	Inventarisatie eerste inschatting elementen die kunnen worden hergebruikt als constructiemateriaal in gebouwen	3

1

INLEIDING

1.1 Achtergrond van de sloop van de Boogbrug Vianen

Met de ingebruikname van de Jan Blankenbrug heeft de Boogbrug Vianen (hierna boogbrug) haar functie verloren. Al in 1997 is het besluit genomen om deze brug te slopen. Echter om redenen van esthetiek en bijbehorende rechtszaken kan het besluit om te slopen pas sinds kort worden uitgevoerd. Om deze sloop voor te bereiden laat Rijkswaterstaat op dit moment in een parallel traject conditionerende onderzoeken uitvoeren naar de technische staat van de boogbrug en de samenstelling en kwaliteit van de toegepaste materialen. Deze informatie is naar verwachting medio september 2017 gereed en is niet voor onderhavig onderzoek beschikbaar.

Afbeelding 1.1 Het fietspad dat onderdeel uitmaakt van de boogbrug Vianen



1.2 Hoogwaardig hergebruik

Met een traditionele sloop zal de boogbrug naar verwachting teruggebracht worden naar secundaire grondstoffen (zoals puingranulaat) en metalen (staal). Hierbij treedt verlies aan waarde van de gebruikte bouwmaterialen op aangezien veel bouwmaterialen als secundaire grondstoffen laagwaardig hergebruikt worden. De centrale vraag in dit project is op welke wijze de boogbrug gesloopt/gedemonteerd kan worden, zodat bouwelementen of materiaal van de brug elders hergebruikt kunnen worden, om zo een bijdrage te leveren in het Rijksbrede Programma Circulaire Economie (zie tekstkader).

Rijksbrede Programma Circulaire Economie & Rijkswaterstaat

In september 2016 heeft het Rijk in een beleidsbrief het Rijksbrede programma Circulaire Economie gelanceerd. De ambitie van het kabinet is om samen met maatschappelijke partners in 2030 een (tussen)doelstelling te realiseren van 50 % minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) en om in 2050 100 % hernieuwbare (gerecycleerde en biobased) materialen toe te passen. Rijkswaterstaat heeft zelf de doelstelling om in 2030 50 % minder grondstoffen te verbruiken en circulair te werken. Dit betekent dat in 2030 alle processen en werkwijzen zo zijn ingericht dat optimaal circulair wordt gewerkt.

1.3 De doelstelling van het project

Het doel van het onderzoek is het uitvoeren van een kwalitatieve verkenning naar mogelijke varianten voor hoogwaardig(er) hergebruik van de boogbrug, en een globale beoordeling van de duurzaamheidswinst hiervan.

De uitkomsten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden als:

- input voor de aanbesteding van de sloop van de brug waarbij duurzaamheid een van de EMVI-criteria is;
- lessen trekken uit deze leerervaring voor een bredere toepassing binnen Rijkswaterstaat en het Rijksbrede Programma Circulaire Economie.

1.4 Onderzoekshypothesen

Aan het onderzoek en de daarbij gehanteerde onderzoeksmethoden liggen een aantal aannames ten grondslag. Deze zijn vertaald naar enkele concrete onderzoekshypothesen¹:

- 1 de decompositie zoals voorgeschreven in de NEN-2767-1 is geschikt om kansen voor hergebruik van toegepaste materialen te inventariseren;
- 2 mogelijkheden voor hergebruik van elementen worden bepaald door hun:
 - omvang van constructie(delen);
 - onderlinge verbindingen (mate van demontabelheid);
 - beperkingen door wet- en regelgeving (ontwerpeisen en milieu en veiligheid);
 - standaardisatie;
 - conditie en (rest)levensduur van het element;
- 3 hergebruik van een element of materiaal als product is duurzamer dan recycling en gebruik als secundaire bouwstof;
- 4 CO₂-reductie is een geschikte indicator voor bepalen van duurzaamheidswinst van hergebruik van materialen.

1.5 Uitgangspunten

Het onderzoek is kwalitatief van aard, waarbij indien mogelijk getracht is om kwantitatieve onderbouwing te geven met behulp van kentallen en expert judgement. Daarbij is het onderzoek uitgevoerd in een zeer korte doorlooptijd met ook een aantal praktische beperkingen (zoals geheimhouding). Vanzelfsprekend heeft dit ook consequenties voor de aanpak en de uitkomsten van het onderzoek. Voor het onderzoek zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het onderzoek is uitgevoerd in de periode van 10 juli tot 9 augustus 2017;
- de onderzoekresultaten van conditionerende onderzoeken naar de technische staat van de boogbrug en de samenstelling en kwaliteit van de toegepaste materialen die in een parallel traject worden uitgevoerd zijn niet beschikbaar voor onderhavig onderzoek;

¹ Een aantal termen die gebruikt worden in de hypothesen, wordt nader toegelicht in hoofdstuk 2 (methode).

- het onderzoek vindt ondergeheimhouding plaats. Hierdoor en door de beperkte doorlooptijd, was het niet mogelijk om actief marktonderzoek te doen naar concrete projecten waarbinnen brugonderdelen of losse materialen van de boogbrug mogelijk hergebruikt zouden kunnen worden;
- het onderzoek is uitgevoerd op basis van door Rijkswaterstaat ter beschikking gestelde informatie. Indien er geen concrete informatie beschikbaar was over de toegepaste materialen, is op basis van expert judgement een inschatting gemaakt van deze materialen;
- de duurzaamheidwinst en kostenbesparing zijn geschat op basis van generieke kentallen en expert judgement.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 wordt een inleiding gegeven tot de sloop van de Boogbrug Vianen en wordt de doelstelling van dit duurzaamheidsonderzoek beschreven. In hoofdstuk 2 wordt de methode toegelicht die gebruikt is voor dit onderzoek. In hoofdstuk 3 is de inventarisatie van kansen en belemmeringen van hergebruik beschreven. In hoofdstuk 4 zijn de varianten beschreven en in hoofdstuk 5 is de duurzaamheidwinst en zijn de kosten van de varianten vergeleken. De leerervaring van het onderzoek voor het vergroten van hergebruik van materialen in de GWW is beschreven in hoofdstuk 6. Tot slot zijn in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2

METHODE

Wij hebben vijf stappen toegepast om kansrijke scenario's voor hergebruik, en de duurzaamheidwinst en kostenbesparing hiervan te bepalen. Deze staan hieronder beknopt samengevat:

- 1 inventarisatie beschikbare informatie;
- 2 visuele inspectie en decompositie van de brug in verschillende deelelementen;
- 3 bepalen van de huidige staat van de brug en de hergebruikmogelijkheden;
- 4 selectie en uitwerking van scenario's voor hergebruik;
- 5 indicatieve inschatting van de duurzaamheidwinst en kosten van de scenario's.

Diverse disciplines

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt kennis en ervaring van verschillende vakdisciplines:

- asset managers met kennis van inspecties en onderhoud, zijn ingezet om de brug in te delen in verschillende elementen en een restlevensduur van elementen te bepalen;
- constructeurs met kennis van beton- en staalconstructies, zijn ingezet om de technische hergebruikmogelijkheden van de elementen van de brug te bepalen binnen GWW;
- architecten ten behoeve van het bepalen van hergebruikmogelijkheden buiten de GWW;
- kostenmanagers zijn ingezet om de financiële baten van de hergebruikvarianten te bepalen;
- duurzaamheidexperts zijn ingezet om de duurzaamheidwinst te berekenen.
- adviseurs Circulaire Economie zijn ingezet om hergebruikmogelijkheden te bepalen en varianten te vergelijken.

Kruisbestuiving

De kruisbestuiving tussen verschillende disciplines is belangrijk voor het vaststellen van verschillende scenario's. Om snelheid in het proces te houden en de kwaliteit van de scenario's te garanderen, is een keuze gemaakt in gemeenschappelijke overleggen en individuele activiteiten.

Het overleg tussen de opdrachtgever en opdrachtnemer heeft plaats gevonden gedurende het startoverleg en de eindbespreking. Hiermee zijn de verwachtingen aan het begin van het traject uitgesproken en de uitkomst van het traject beter gedeeld, dan wanneer deze alleen in rapportvorm wordt overgedragen. Er zijn geen formele overlegmomenten gehouden om een snelle doorloop te garanderen.

De verschillende disciplines vanuit Witteveen+Bos zijn voornamelijk individueel ingezet op hun eigen kennisgebied. De coördinatie van de inzet lag bij de adviseurs Circulaire Economie, die zo gestuurd hebben op het verzamelen van kennis om de scenario's te vergelijken. Bij het vaststellen van de scenario's was veel kennis nodig vanuit verschillende disciplines; deze zijn dan ook vormgegeven naar aanleiding van een crossdisciplinair overleg.

Leerervaring

Hergebruik van materialen als product krijgt normaal gesproken geen of zelden aandacht bij de sloop van een object (in dit geval een brug). In de brainstormsessies en overleggen met de diverse experts is nadrukkelijk stilgestaan bij de vraag waarom er op dit moment beperkt aandacht is voor hergebruik, welke belemmeringen en bezwaren hiervoor zijn en waar dit op is gebaseerd. Daarnaast is bij de uitvoering van het onderzoek bewust gebruik gemaakt van bestaande methoden voor het inspecteren van kunstwerken (NEN2767-1) en het bepalen van duurzaamheidwinst (kosten en CO₂-reductie).

Van deze methoden is nagegaan in hoeverre deze methoden geschikt zijn voor bepalen van hergebruikswaarde, of dat het nodig is hier aanvullende onderzoeksmethoden/instrumenten voor te ontwikkelen.

2.1 Inventarisatie beschikbare informatie

Om doelgericht te werk te kunnen gaan is tijdens het startoverleg met direct betrokkenen van Rijkswaterstaat van de afdelingen (PPO, GPO en WVL) een brainstorm gehouden over de kansen en belemmeringen voor hergebruik van de brug. Hierbij is nagegaan welke relevante informatie over de brug beschikbaar is en welke zaken reeds eerder zijn onderzocht. Er is bijvoorbeeld in eerder onderzoek vastgesteld dat de brug niet in zijn geheel kan worden verplaatst, omdat de brug ligt ingesloten tussen de A2 en A27 en hier (in zijn geheel) niet onderdoor past. Door Rijkswaterstaat is de volgende informatie beschikbaar gesteld:

- tekeningen van de aanbrug en hoofdbrug;
- inspectierapportage met algemene beschrijving van huidige staat;
- massabalans;
- decompositie Boogbrug Vianen.

Op basis van de verstrekte informatie zijn de basiskenmerken van de brug en haar omgeving verworven.

2.2 Visuele inspectie en decompositie

De decompositie en conditie van de brug is bepaald tijdens een visuele inspectie uitgevoerd op 20 juli 2017. De inspectie is uitgevoerd door senior inspecteur de heer J. ten Thije (Witteveen+Bos), die gespecialiseerd is in staal- en betonconstructies. De inspectie is te voet uitgevoerd, zonder het verdere gebruik van hulpmiddelen. De onderkant van de brug is enkel van de oever bekeken, zonder verder gebruik van hulpmiddelen om dichterbij de brug te komen.

Voor het maken van de decompositie van de brug is aangesloten bij de NEN2767-1. Deze norm biedt een onafhankelijk toetsmiddel voor het bepalen van de technische conditie van de gebouwde omgeving (gebouwen en infrastructuur). Deze conditiemeting is een soort 'checklist' waarmee de technische staat van een gebouw of infrastructureel bouwdeel kan worden gescoord. In de norm is ook de decompositie methode vastgelegd. Deze standaard decompositie methode is ook door de inspecteur gehanteerd voor de inspectie van de brug.

2.3 Bepalen huidige staat en hergebruiksmogelijkheden

Tijdens de schouw is een inschatting gemaakt van de mogelijkheden voor hergebruik van de diverse delen van de brug (elementen of materialen). Wij hebben zoals aangegeven de decompositie volgens de NEN-2767-1 als vertrekpunt gebruikt en deze aangevuld met informatie over de mate waarin de elementen nog steeds worden gebruikt in constructies (dit vergroot namelijk de kans op hergebruik). En tevens is aangegeven of dat hergebruik belemmerd wordt door (nieuwe) regelgeving met betrekking tot veiligheid en gezondheid. Tevens zijn de resultaten verwerkt in een overzichtstabel met daarin de decompositie en hergebruiksmogelijkheden. Deze mogelijkheden zijn geschat op basis van expert judgement. Tevens is beschreven welk nader onderzoek nodig is om de restlevensduur en hergebruiksmogelijkheden nader te bepalen (indien nodig).

2.4 Uitwerking scenario's

Er zijn drie scenario's uitgewerkt waarin de brug of onderdelen op een of andere manier worden hergebruikt als product, waarbij indien nodig renovatie (refurbishment) plaatsvindt. Deze drie scenario's zijn vergeleken met conventionele sloop en recycling van materialen (het nul-scenario). De volgende vier scenario's zijn vergeleken:

- 0 referentie scenario: conventionele sloop, recycling en hergebruik;
- 1 het meest kansrijke scenario: hergebruik van de hoofdoverspanning van de uitkragende fietsbrug en fietsaanbruggen;
- 2 het meest optimale scenario: hergebruik van de volledige hoofdoverspanning en van de aanbruggen;
- 3 het alternatieve scenario: hergebruik van losse constructiedelen van de volledige hoofdoverspanning en aanbruggen in andere gebouwen.

De basis van deze varianten is uitgewerkt in een interne brainstormsessie waarbij verschillende disciplines aanwezig zijn geweest (zoals beschreven paragraaf 2.1). Na de brainstorm zijn de scenario's verder uitgewerkt, waarbij op specifieke onderdelen input van verschillende disciplines is gebruikt.

2.5 Indicatieve bepaling van de duurzaamheidwinst en kosten

Voor het bepalen van de duurzaamheidwinst en kosten is als eerste bepaald welke activiteiten van de hergebruikscenario's daadwerkelijk verschillen van de conventionele sloop en recycling. Dit betekent dat niet de totale milieu-impact (uitgedrukt in CO₂-emissie) en de totale kosten van de drie hergebruikscenario's zijn berekend, maar alleen van activiteiten die significant verschillen van het referentiescenario. Hiermee wordt een indicatie verkregen of hergebruik leidt tot milieuwinst en kostenbesparing ten opzicht van de conventionele sloop en dus of deze scenario's kansrijk zijn en de moeite waard zijn om nader te onderzoeken.

Voor het bepalen van de duurzaamheidwinst en kosten van de hergebruikvarianten is uitgegaan van de volgende algemene uitgangspunten:

- met hergebruik van een materiaal of constructie wordt voorkomen dat hetzelfde materiaal of constructie nieuw gemaakt moet worden van dezelfde materialen;
- de activiteiten die moeten worden uitgevoerd voor de sloop van de brug moeten in principe ook worden uitgevoerd voor het hergebruikscenario. Immers de brug kan niet in zijn geheel worden verwijderd. Dit betekent dat ook in het sloopscenario de brug eerst moeten worden gestript en in delen moeten verwijderd;
- de uiteindelijke bestemming van de recyclede materialen (nul-scenario's) ten opzichte van de bestemming in het hergebruikscenario is in principe onbekend en is daarom per definitie niet exact te bepalen. Om toch een orde-grootte gevoel te krijgen, is een inschatting gemaakt welke afstand afgelegd kan worden met de materialen voordat dit minder gunstig wordt dan het nul-scenario.

Deze uitgangspunten worden per scenario nader toegelicht in hoofdstuk 4 (uitwerking varianten).

Wij hebben gekozen om voor de bepaling van de milieu-impact CO₂-emissie als indicator te gebruiken. CO₂-emissie is een gangbare milieu-indicator met veel bekende, direct toepasbare kentallen en is daarom geschikt voor een eerste indicatie van de milieuwinst van de verschillende scenario's. Voor de globale inschatting van kosten en eventuele baten (vanuit hergebruik optiek) is gebruik gemaakt van bij Witteveen+Bos beschikbare kosten kentallen van vergelijkbare projecten.

Voor de globale kosteninschatting en voor de duurzaamheidscores is inzicht nodig in de massabalans per variant. Hiervoor zijn globale schattingen gemaakt van de toegepaste materialen en per variant de hoeveelheden die in aanmerking komen voor product- of materiaalhergebruik.

Naast deze indicatoren is ook aangegeven welke kansen en belemmeringen ieder scenario heeft. Deze hebben te maken met diverse kenmerken van het scenario en gaan ook in op de vraag of welke wijze hergebruik voor naburige bewoners van waarde kan zijn.

3

INVENTARISATIE VAN MOGELIJKHEDEN VOOR HERGEBRUIK

3.1 Beschrijving van de brug op hoofdlijnen

3.1.1 Historische informatie

De boogbrug is gebouwd in 1936 en bestond oorspronkelijk uit twee rijbanen voor autoverkeer (breedte 15 meter). In 1967 is de brug uitgebreid naar vier rijstroken voor het snelverkeer tot een breedte van 25 meter. Er is beperkt informatie beschikbaar over de bouw van de boogbrug. Via een online fotoboek met enkele foto's van de bouw¹ is op te maken dat de boogbrug in enkele delen is opgebouwd met behulp van twee (tijdelijke) steunpilaren in de Lek.

Afbeelding 3.1 Oude lekbrug bij Vianen in 1952²



De brug werd op 5 januari 1945 tijdens een bombardement door de geallieerden verwoest. Eind 1948 is de brug in dezelfde constructie hersteld, en op 23 december 1948 opnieuw voor het wegverkeer opengesteld³.

¹ Bouw van de stalen overbrugging over de Lek bij Vianen 1936 1948, Stichting Boogbrug Vianen, 2015.

² Auto en kleine vrachtwagen op de Viaanse brug (oude verkeersbrug), Willem van der Poll, Nationaal Archief, Bestanddeelnr. 252-0141, juni 1952.

³ Lekbrug bij Vianen (1936), Wikipedia ([https://nl.wikipedia.org/wiki/Lekbrug_bij_Vianen_\(1936\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lekbrug_bij_Vianen_(1936))), 28 november 2016.

Er is geen informatie beschikbaar welke onderdelen van de constructie van de boogbrug of aanbruggen zijn gebombardeerd en welke onderdelen zijn vervangen, dan wel hersteld.

De brug is in 2004 buiten gebruik gesteld nadat pal ernaast in 1999 de eerste en in 2004 de tweede Jan Blankenbrug aangelegd zijn. Sinds 2004 is er enkel onderhoud uitgevoerd om te voorkomen dat er onveilige situaties kunnen ontstaan voor de scheepvaart op de Lek.

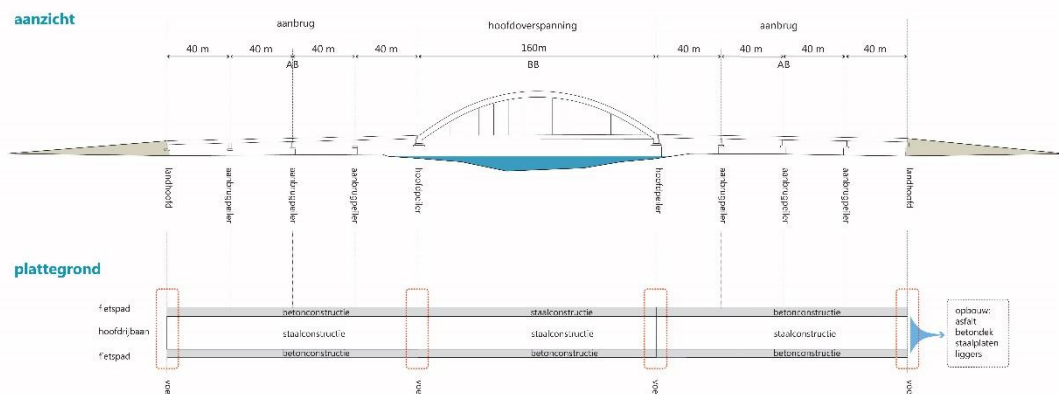
3.1.2 Hoofdindeling

In afbeelding 3.2 is de schematische hoofdindeling van de brug in een zijaanzicht en een bovenaanzicht weergegeven. De totale lengte van de brug inclusief aanbruggen is circa 480 meter. De stalenboogbrug heeft een overspanning van circa 160 meter en de aanbruggen aan weerszijden hebben elk ook een totale lengte van circa 160 meter. De aanbruggen en ook de uitkragende fietsbrug zijn opgebouwd uit delen van circa 40 meter.

De boogbrug in de hoofdoverspanning bestaat uit een hoofdrijbaan met 2x2 rijstroken tussen de bogen, met aan weerszijden van de bogen fietsbruggen op uitkragingen. De aanbruggen voor autoverkeer bestaan uit 2x2 rijstroken met aan weerszijden fietsbruggen op aparte brugliggers.

De fietsbruggen zijn vermoedelijk aangebracht tijdens de uitbreiding in 1967, maar hier is geen concrete informatie over beschikbaar. Het is ook mogelijk dat één van de fietsbruggen in gebruik is geweest voor lokaal bestemmingsverkeer (onder andere landbouwvoertuigen). In bijlage I zijn enkele overzichtfoto's opgenomen van de brug.

Afbeelding 3.2 Schematische weergave hoofdonderdelen van de brug (aanzicht en plattegrond)



3.1.3 Massabalans

Door Rijkswaterstaat is een massabalans ter beschikking gesteld met daarin een inschatting van de totaal hoeveelheden aan staal en beton in de boogbrug en in de aanbruggen. De massabalans is opgenomen in bijlage II. In tabel 3.1 zijn de hoeveelheden van staal en beton samengevat.

Tabel 3.1 Massabalans op hoofdlijnen

Hoofdonderdeel	Totaalgewicht staal (in ton)	Totaalgewicht beton (in ton)
boogbrug, inclusief fietsbrug	3.000	1.200
aanbruggen, inclusief fietsbrug	4.100	5.800

3.2 Decompositie en conditiemeting op basis van NEN2767-1

3.2.1 Decompositie

In tabel 3.2 is de decompositie van hoofdcomponenten (IH-onderdelen) van de hoofdbrug en de fietsbrug weergegeven. In bijlage III is de decompositie van de hoofdbrug en de fietsbrug volledig uitgewerkt in een tabel.

Tabel 3.2 Indeling in hoofdcomponenten (IH-onderdelen)

Hoofdbrug	Fietsbrug
geleideconstructie	geleideconstructie
hemelwaterafvoer (HWA)	hemelwaterafvoer (HWA)
hoofddraagconstructie (staal)	hoofddraagconstructie beton ¹
inspectievoorziening	hoofddraagconstructie staal ¹
openbare verlichting (OV)	leuning
oplegging	oplegging
rijvloer	rijvloer
schampkant	schampkant
steunpunt	steunpunt
talud	mantelbuis
verharding (wegtype 1, hoofdwegennet)	talud
voegovergang	verharding
	voegovergang

3.2.2 Conditie

Van alle onderdelen van de brug zijn gebreken geïventariseerd (op basis van de NEN2767-1) en is een inschatting gemaakt van de conditie conform de NEN2767-1. In de decompositietabellen van de hoofdbrug en de fietsbrug in bijlage III (a en b) zijn in kolom 4 de gebreken van ieder deelcomponent beschreven. Navolgend zijn de belangrijkste waarnemingen samengevat.

Hoofddraagconstructie staal van de boogbrug en aanbrug

Tijdens de inspectie zijn visueel geen grote gebreken of schade van de hoofddraagconstructie van de boogbrug en aanbruggen aangetroffen. De hoofddraagconstructie is opgebouwd met plaatstaal dat onderling is verbonden met versmolten klinknagels. Het plaatstaal heeft vermoedelijk een relatief hoog koolstofgehalte en is daarom moeilijk lasbaar. De corrosie van het staal in de hoofddraagconstructie wordt

¹ Met de hoofddraagconstructie wordt het totaal aan elementen bedoeld dat het wegdek draagt. Dit zijn de consolen, orthotrope dekdelen en het beton dat in de rijvloer verwerkt is.

ingeschat op < 1 %. Het staal is zeer waarschijnlijk behandeld met loodmenie (lood(II,IV)oxide). Op enkele plekken is de typische oranjerode kleuring waargenomen. Het is tegenwoordig verboden lood(II,IV)oxide te gebruiken vanwege zijn giftige eigenschappen. De giftigheid van loodmenie is vooral van belang bij eventuele bewerkingen (bijvoorbeeld stralen) van het staal. De conditie van de staalconstructie lijkt dus op het eerste gezicht goed. Om concrete uitspraken te kunnen doen over de (rest)levensduur van staalconstructie zal nader onderzoek moeten worden gedaan naar de aanwezigheid van vermoeiingscheuren (haarscheurtjes).

Afbeelding 3.3 Overzichtfoto van de stalen boogbrug



Staal fietsbrug

Tijdens de inspectie zijn visueel geen grote gebreken of schade van de hoofddraagconstructie van de fietsbrug aangetroffen. De hoofddraagconstructie van de stalen fietsbrug bestaat een orthotroop dek op consoles. De constructie is verbonden met boutverbindingen. De corrosie van het staal in de hoofddraagconstructie wordt ingeschat op < 1 %. Het staal is zeer waarschijnlijk geïmpregneerd met loodmenie (lood(II,IV)oxide). Om concrete uitspraken te kunnen doen over de (rest)levensduur van staalconstructie zal nader onderzoek moeten worden gedaan naar de aanwezigheid van vermoeiingscheuren (haarscheurtjes).

Afbeelding 3.4 Foto van onderzijde stalen fietsbrug



Hoofddraagconstructie beton

Ook in de hoofddraagconstructie van de fietsaanbrug en de hoofdrijbaan van beton zijn visueel nagenoeg geen relevante gebreken waargenomen (afgedrukt beton met blootliggende wapening < 1 %). De eerste indruk is dat conditie van het beton goed is. Om concrete uitspraken te kunnen doen over de (rest)levensduur van het beton zal ook nader onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de indringing van carbonatatie en chloride.

Afbeelding 3.5 Zijaanzicht van betonnen fietsaanbrug



Overige hoofdonderdelen

Van een aantal kleinere onderdelen zoals bijvoorbeeld de voegovergangen (>80 % corrosie), de geleiderails (>80 % corrosie) en openbare verlichting (duplex conserveringssysteem einde levensduur en circa 75 % van de luiken ontbreken) is de conditie slecht tot matig. In de slijtlaag van de hoofdrijbaan zijn diverse reparaties en rafelingen waargenomen. De hoeveelheid kale plekken in de slijtlaag van het fietspad is < 5 %.

3.3 Inschatting mogelijkheden hergebruik hoofdonderdelen van de brug

Voor het inventariseren van hergebruik mogelijkheden ligt het voor de hand om eerst te kijken naar mogelijkheden voor volledig hergebruik van hoofdonderdelen van de brug. Het ontwerp en de constructie van de brug is namelijk zeer specifiek qua afmetingen/dimensies, constructie, materialen en montage waardoor volledig hergebruik van alle losse elementen naar verwachting lastig zal zijn. Voor hergebruik van hoofdonderdelen van de brug maken wij onderscheid in vier onderdelen:

- 1 de stalen boogbrug;
- 2 de stalen aanbrug (hoofdrijbaan);
- 3 de stalen fietsbrug;
- 4 de betonnen fietsaanbrug.

In tabel 3.3 hebben wij een eerste inschatting gemaakt van de hergebruikmogelijkheden van de hoofdonderdelen aan de hand van een aantal criteria. In bijlage IIIc is een overzicht opgenomen van de inventarisatie van hergebruik mogelijkheden van de gecombineerde elementen van de fietsbrug.

Tabel 3.3 Globale inschatting hergebruik mogelijkheden hoofdonderdelen van de brug

Criteria	Stalen boogbrug	Stalen aanbrug	Stalen fietsbrug	Betonnen fietsaanbrug
overall conditie	corrosie < 1 %, voor bepalen restlevensduur is nader onderzoek nodig	corrosie < 1 %, voor bepalen restlevensduur is nader onderzoek nodig	corrosie < 1 %, voor bepalen restlevensduur is nader onderzoek nodig	afgedrukt beton met blootliggende wapening < 1 %, voor bepalen restlevensduur is nader onderzoek nodig
transporteerbaarheid	de stalenboog kan niet in zijn geheel onder de A2 of A27 door en zal in stukken moeten worden opgedeeld	de stalen aanbrug is opgebouwd uit elementen van 40 meter en is transporteerbaar per schip	de stalen fietsbrug is opgebouwd uit elementen van 40 meter en is transporteerbaar per schip	de betonnen fietsaanbrug is opgebouwd uit elementen van 40 meter, de elementen liggen los op rubbers en zijn transporteerbaar per schip, gewicht is wel een aandachtspunt.

Criteria	Stalen boogbrug	Stalen aanbrug	Stalen fietsbrug	Betonnen fietsaanbrug
ontwerpis huidige functie	voldoet aan eisen voor autoverkeer*	voldoet aan eisen voor autoverkeer*	voldoet aan eisen voor fietsverkeer*	voldoet aan eisen voor fietsverkeer*
milieu, arbo, gezondheid	conservering met loodmenie is aandachtspunt voor bewerkingen	conservering met loodmenie is aandachtspunt voor bewerkingen	conservering met loodmenie is aandachtspunt voor bewerkingen	geen bijzonderheden
inpasbaarheid	de benodigde overspanning moet circa 160 meter zijn	de benodigde overspanning moet circa 40 meter zijn	de orthotrope dekdelen zijn in principe aan te passen aan de gewenste lengte	de betonnen draagconstructie bestaat uit elementen van 40 meter
breedte en capaciteit	Hoofdrijbaan van 16 meter, geschikt voor 2 x 2 rijbanen.	Hoofdrijbaan van 16 meter, geschikt voor 2 x 2 rijbanen.	Twee fietsdekken van 5 meter breed	twee fietsdekken van 5 meter breed

* De brug voldeed in 2004 aan de normen en er zijn geen aanleidingen waarom dit nog niet steeds het geval is.

We hebben de aanname gedaan dat het betondek uitgenomen kan worden in delen van 40 meter. Dit is een aanzienlijke grootte en massa die in éénmaal uitgehesen moet worden. Als de wegdelen in kleinere delen worden uitgehesen, dan moet het beton gebroken worden en kan niet meer hergebruikt worden. Het beton moet dan dus worden afgevoerd voor recycling en worden vervangen in een nieuwe functie door nieuw beton.

3.4 Inschatting mogelijkheden hergebruik losse elementen

Voor de herbruikbaarheid van elementen zijn grotendeels dezelfde criteria van belang als voor het hergebruik van hoofdelementen, namelijk conditie, ontwerpeisen en milieu, arbo en gezondheid. Immers de conditie moet goed zijn en het element moet voldoen aan de huidige wet- en regelgeving. In aanvulling hierop is specifiek voor hergebruik van losse elementen de mate van demontabelheid en standaardisatie van belang. Immers, een element moet in zijn geheel losgemaakt kunnen worden om weer in een andere constructie bevestigd te kunnen worden. Belangrijk hierbij is dat het element een standaard afmeting heeft, anders is het niet in te passen in een constructie. Deze criteria worden in tabel 3.4 nader toegelicht.

Tabel 3.4 Criteria voor herbruikbaarheid van losse elementen

Criteria	Toelichting
conditie	zijn er gebreken?
bevestiging en mate van demontabelheid	op welke wijze is een element bevestigd? En is het element te demonteren?
standaardisatie	bestaat het element uit een standaard bouwelement dat vaker in deze afmetingen wordt toegepast in de bouw? (Ja/nee)
ontwerp richtlijn	voldoet een element nog aan de ontwerp norm en regelgeving voor de huidige functie? (Ja/nee)
milieu, arbo en gezondheid	voldoet een element nog aan de huidige normen omtrent milieu, arbo en gezondheid?
kansen	zijn er specifieke kansen die hergebruik extra interessant kunnen maken? Bijvoorbeeld heeft element bepaalde esthetische waarde? Is het element breed toepasbaar in verschillende type bouwwerken?
belemmeringen	zijn er specifieke (andere) belemmeringen waardoor de kans op hergebruik wordt beperkt? Bijvoorbeeld is het toegepaste staal wel of niet geschikt om te lassen?

Bovenstaande criteria zijn voor alle bouwelementen uit de decompositie ingevuld in kolommen 4 t/m 10 in bijlage III (a en b). Vervolgens is in kolom 12 + 13 (argumentatie) weergegeven of het redelijkerwijs is te verwachten of een los element kan worden hergebruikt als product, of dat het kan worden hergebruikt als grondstof secundaire bouwstof of dat het geen hergebruikwaarde meer heeft en enkel kan worden afgevoerd als afvalstof. In tabel 3.5 zijn de elementen weergegeven die in aanmerking komen voor hergebruik als product.

Tabel 3.5 Losse elementen die in aanmerking komen voor hergebruik als product.

Elementen	Toelichting
Hoofdbrug	
stalen hanger	qua afmeting mogelijk als I-profiel toepasbaar in midden- en hoogbouw van gebouwen, met aandachtspunt dat dit staal niet lasbaar is.
stalen windverband	mogelijk bruikbaar als kolom in laagbouw van gebouwen, met aandachtspunt dat dit staal niet lasbaar is.
inspectiewagen	het betreft een iconisch bouwwerk dat zeer geschikt is als museumstuk of kunstwerk
openbare verlichting (mast en armatuur)	na herconservering en reparatie voor hergebruik geschikt
basaltblokken (talud)	gewild type verharding, niet gemetseld
Fietsbrug	
dwarssligger/console	in combinatie met het orthotrope dek her te gebruiken bij andere stalen bruggen
rijdekstaal	dekken kunnen in delen van 40 meter gedemonteerd en (per schip) vervoerd worden
schamkant staal	deze kunnen in delen van 40 meter gedemonteerd en (per schip) vervoerd worden
mantelbuis	courante maten (nieuw staat)

4

BESCHRIJVING SCENARIO'S

4.1 Vier scenario's

Aan de hand van de inventarisatie zijn de volgende vier scenario's uitgewerkt:

- 0 referentie scenario: conventionele sloop, recycling en hergebruik;
- 1 het meest kansrijke scenario: hergebruik van de hoofddraagconstructie van de fietsbrug en fietsaanbrug;
- 2 het meest optimale scenario: hergebruik van de volledige hoofddraagconstructie van de hoofdoverspanning en aanbruggen;
- 3 het alternatieve scenario: hergebruik van losse elementen van de volledige hoofddraagconstructie van de hoofdoverspanning en aanbruggen in gebouwen.

Het referentiescenario beschrijft de conventionele sloop van de brug en recycling van de vrijkomende materialen. Vervolgens zijn drie hergebruikscenario's uitgewerkt. Deze drie hergebruikscenario's zijn gericht op hergebruik van de hoofddraagconstructie van de hoofdbrug en/of de fietsbrug en aanbruggen. Hiervoor is gekozen omdat in deze constructies de meeste massa aan staal en beton is toegepast en dus hergebruik de grootste impact zal hebben. Daarnaast heeft de inventarisatie van hergebruik van losse elementen (paragraaf 3.4) laten zien dat een beperkt aantal elementen geschikt zijn voor hergebruik als product.

Als het eerste scenario is gekozen voor hergebruik van de fietsbrug (inclusief aanbrug) omdat hergebruik hiervan als het meest kansrijk wordt gezien. De conditie van de stalen fietsbrug en de betonnen aanbruggen lijkt op het eerste gezicht goed en de constructie is relatief eenvoudig te demonteren en op te delen in delen van 40 meter. Het tweede scenario gaat uit van hergebruik van de hoofdoverspanning en aanbruggen (van zowel de hoofdrijbaan als het fietsdeel). Dit is het meest optimale scenario, omdat hierbij zoveel mogelijk elementen worden hergebruikt. Ten derde is een alternatief scenario uitgewerkt, waarbij is gekeken welke losse elementen zijn her te gebruiken als constructiemateriaal in gebouwen. Dit scenario zou eventueel interessant kunnen zijn als hergebruik als brug niet lukt omdat geen geschikte locatie kan worden gevonden op korte termijn.

In tabel 4.1 is weergegeven wat de scope is per scenario. De tabel geeft weer van welke onderdelen van de brug hergebruik is bepaald in ieder scenario. Scenario 0 en 2 beschouwen respectievelijk de conventionele sloop en het hergebruik van de totale brug, terwijl een aantal onderdelen niet voor hergebruik in aanmerking komen in scenario 1 en 3.

Tabel 4.1 De verschillende onderdelen waarvan hergebruik is bepaald per scenario.

		Scenario 0	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
aanbruggen	hoofdrijbaan	ja	nee	ja	ja (m.u.v. beton)
	fietsdeel	ja	ja	ja	ja
hoofdoverspanning	hoofdrijbaan	ja	nee	ja	ja (m.u.v. beton)
	fietsdeel	ja	ja	ja	ja

In paragrafen 4.2 t/m 4.5 zijn de vier scenario's uitgewerkt. In de hergebruikscenario's kijken we alleen naar de onderscheidende handelingen ten opzicht van het referentiescenario en het onderscheidende hergebruik van materiaal. Een aantal elementen wordt niet meegenomen in de scenario's, omdat de hergebruikmogelijkheden niet onderscheidend zijn. De elementen die niet worden meegenomen staan beschreven in de tabel 4.2 inclusief een motivatie.

Tabel 4.2 De elementen van de brug die in de scenario's niet onderscheidend zijn.

Uitgesloten element	Motivatie
basaltblokken	deze elementen zitten niet aan elkaar en kan makkelijk worden uitgenomen. Het materiaal verkeert in goede staat en er is een goede markt voor deze elementen aanwezig. Overigens is het voornemen van Rijkswaterstaat om het talud met basalt te laten liggen na de sloop. Hergebruik van basalt op andere locaties is daarom niet van toepassing
mantelbuis	de mantelbuis verkeert in goede staat (geen gebreken waargenomen) en is demontabel. Het is waarschijnlijk dat dit element in ieder scenario wordt uitgenomen en weer wordt hergebruikt. De vorm van hergebruik is daarom niet onderscheidend per scenario
steunpunten en oplegging (pijlers en fundering)	de oplegging (van het fietspad) en alle steunpunten die onder de rijvloer aanwezig zijn, zoals de pijlers en fundering, zijn niet te demonteren. Onderdelen hiervan zijn de kolommen, landhoofden, poeren en wanden. De elementen hierin kunnen niet worden hergebruikt en worden in elk scenario afgevoerd als primaire of secundaire bouwstof. De vorm van hergebruik is daarom niet onderscheidend per scenario
verharding hoofdrijbaan (asfalt) en van het fietsdek op de aanbrug	het asfalt wordt in alle varianten afgebroken vanwege zijn huidige staat. De vorm van hergebruik is daarom niet onderscheidend per scenario
hemelwaterafvoer	de massa van de hemelwaterafvoer is dusdanig klein ten opzichte van de rest van de brug, dat deze verwaarloosbaar is. De vorm van hergebruik is daarom niet onderscheidend per scenario
geleiderail	de geleiderail voldoet niet meer aan huidige wet- en regelgeving en dient vervangen te worden. Er vindt dus geen onderscheidend hergebruik plaats
leuning	de leuning voldoet niet meer aan huidige wet- en regelgeving en dient vervangen te worden. Er vindt dus geen onderscheidend hergebruik plaats

De overige elementen hebben wel een onderscheidend hergebruik en worden besproken in onderstaande scenario's.

Gedurende de inventarisatie van mogelijk scenario's is ook kort stilgestaan bij de mogelijkheid om de brug her te gebruiken als hulpbrug bij de constructie van nieuwe bruggen. Dit scenario is niet verder hergebruikt omdat de eerste inschatting is dat deze brug een te grote massa en omvang heeft en de (de)montage te complex is om efficiënt te worden ingezet als tijdelijke hulpbrug.

4.2 Scenario 0 - conventionele sloop en recycling

Het referentie scenario ofwel het nul-scenario beschrijft de situatie waarin de brug zal worden gesloopt op conventionele wijze. In dit scenario wordt geen nadruk gelegd op hergebruik van elementen als product. De nadruk in het sloopsenario liggen op tijd en kosten efficiëntie.

Rijkswaterstaat gaat uit van een drietal mogelijkheden om de brug te slopen. De eerste mogelijkheid gaat uit van het slopen in omgekeerd wijze van de bouw van de brug. Dus zoals de brug is opgebouwd zal de brug ook weer worden ontmanteld en in delen worden afgevoerd. Dit houdt in dat er tijdelijke pijlers in de Lek worden geplaatst om de brug in delen te verwijderen (zie afbeelding 4.1). Een nadeel van deze mogelijkheid is dat er stremming en/of belemmering optreedt van de scheepvaart.

Afbeelding 4.1 Oude foto van de bouw van de brug met 2 hulppijlers in de Lek.



De tweede mogelijkheid is dat de brug in zijn geheel wordt uitgenomen en op kribben wordt gezet. Vanaf hier wordt de brug verder ontmanteld en indelen afgevoerd. De derde mogelijkheid is het uitnemen van de brug en in zijn geheel verplaatsen naar de terp in het verlengde van de zuidelijke aanbrug.

De grootte van het materieel dat ingezet wordt om de brug te demonteren hangt af van de grootte van de uit te nemen onderdelen. Des te groter en zwaarder deze zijn, des te groter het materieel. Wij zijn ervan uitgegaan dat in ieder scenario vergelijkbare grootte onderdelen wordt uitgenomen en dus vergelijkbaar materieel wordt ingezet. In dit onderzoek beschrijven we de sloop volgens de eerste mogelijkheid. Tevens beschrijven we hoe het materiaal uiteindelijk wordt afgevoerd om inzicht te krijgen in de verschillen tussen recycling en hergebruik.

4.2.1 Hoofdoverspanning

De hoofdoverspanning wordt gestript in redelijk transporteerbare delen. Dit betekent het frezen van het wegdek (asfalt) en slopen van de rijvloer (beton), de schampkanten en overige onderdelen als geleiderail, hemelwaterafvoer en verlichting. Tegelijkertijd zullen de fietsbruggen aan weerszijden van de boogbrug worden afgenomen. Deze zijn er in een latere fase aangezet en kunnen nu dus ook afzonderlijk worden afgenomen. De dwarsliggers (consoles) van de fietsbrug zijn vermoedelijk aan de boogbrug met boutverbindingen bevestigd.

Alle verschillende delen van de stalen hoofdoverspanning worden in kleine onderdelen afgevoerd. Om deze als schroot af te voeren en vervolgens gebruikt te worden in een staalfabriek moeten deze aan bepaalde afmetingen voldoen. Het schroot kan maximaal 1,5x0,5x0,5m zijn, aldus een van de grootste staalrecyclingbedrijven in Europa¹. Het beton zal afgevoerd worden naar een bouw- of werkplaats om gebroken te worden tot betonpuin, zodat het uiteindelijk afgevoerd kan worden als betongranulaat. Dit kan vermoedelijk niet ter plekke gebroken worden, omdat dit zal leiden tot teveel hinder voor de omgeving in de vorm van geluid- en stofoverlast.

¹ Scrap Steel, TSR The Metal Company, beschikbaar via: <http://www.tsr.eu/en/trading/scrap-metal-recycling/scrap-steel/>, geraadpleegd op 2 augustus 2017.

4.2.2 Aanbruggen

De aanbruggen worden net als de hoofdoverspanning gestript, waarbij de verschillende materialen zo veel mogelijk gescheiden worden. In het stripproces zullen de volgende elementen worden verwijderd:

- verharding (asfalt),
- betonnen rijvloer, inclusief schampkant;
- schampkant (staal)
- geleideconstructie (staal);
- hemelwaterafvoer (staal);
- mantelbuis (staal);
- leuning (staal);
- voegovergangen (staal).

Deze onderdelen worden gesloopt in transporteerbare delen. De pijlers worden afgebroken en vergruisd tot menggranulaat. Voor de asfaltverharding zal onderzoek uitgevoerd worden naar de teerhoudendheid. Als er geen of weinig teer aanwezig is in het wegdek, dan zal deze hergebruikt kunnen worden. In het minst gunstige geval moet het asfalt afgevoerd worden. Het asfalt en de pijlers zijn niet uit te nemen als product en worden daarom niet meegenomen in de hergebruikscenario's.

Vervolgens wordt de draagconstructie (staal) van het wegdek verwijderd en in stukken gedeeld. De pijlers worden gebroken en verwijderd. In afstemming met Rijkswaterstaat gebeurt dit tot 1 m onder maaiveld of tot en met de stortvloer. De funderingspalen worden niet verwijderd.

Twee onderdelen zoals beschreven in de inspectie zullen worden hergebruikt als product. Dit is enerzijds de mantelbuis, die in goede staat verkeert en een vorm heeft die gemakkelijk in een ander object gebruikt kan worden. Anderzijds kunnen de basaltblokken opnieuw gebruikt worden. Deze zitten niet aan elkaar met specie, maar zijn losse elementen. De basaltblokken kunnen gemakkelijk in andere constructies of onderdelen gebruikt worden.

4.2.3 Afgevoerde materialen

Het materiaal dat vrijkomt bij de sloop zal over het algemeen in twee verschillende stromen worden gesplitst: enerzijds een materiaalstroom aan schroot (staal) en anderzijds een stroom aan beton/menggranulaat. Overige materialen zoals basalt, asfalt en rubber worden niet behandeld in dit scenario.

Afgevoerd staal

Het staal zal ontdaan worden van aanklevend beton, naar een werkplaats gaan en uiteindelijk in kleinere stukken worden afgevoerd naar de dichtstbijzijnde staalindustrie. Het staal van de hoofdrijbaan bevat een hoog koolstofgehalte. Schroot met een hoog koolstofgehalte is interessant voor hoogovens, omdat dan minder koolstof hoeft te worden toegevoegd. Het nieuwere fietsgedeelte van de brug is gemaakt van ander staal, maar tevens goed te recyclen.

In Nederland ligt de dichtstbijzijnde staalindustrie (Tata Steel) in IJmuiden, wat op circa 85 km afstand varen ligt van de huidige locatie van de brug. Het transport zal plaats vinden met binnenvaartschepen met een laadvermogen tot circa 3.000 ton. Aangekomen bij de staalfabriek, zal het schroot samen met ijzererts worden opgewerkt tot nieuw staal.

Het staal wordt echter niet 1:1 omgevormd tot nieuw staal. Niet al het staal kan volledig worden hergebruikt. Bij de productie van staal is circa 33 % van de productie een bijproduct, 3 % is geclassificeerd als afval¹. De bijproducten worden gebruikt als toeslagmateriaal in de cement- of betonindustrie en sommige

¹ World Steel in Figures 2016, World Steel Association, 2016, page 4.

bijproducten worden gebruikt bij de productie van kunstmest. Het proces om staal te maken verbruikt tevens veel energie en produceert giftige gassen. Tevens wordt er veel energie verbruikt bij het versmelten van het staal.

Afgevoerd beton

Als beton wordt afgevoerd, dan gebeurt dit in de vorm van laagwaardiger menggranulaat of hoogwaardiger betongranulaat. Het verschil wordt bepaald aan de hand van het gehalte betonpuin ten opzichte van overige stromen. Bij de sloop van de brug verwachten we dat het grootste deel van het vrijkomende materiaal wordt afgevoerd als betongranulaat.

Zowel menggranulaat als betongranulaat kan worden gebruikt in de betonproductie als een toeslagmateriaal. Menggranulaat kan tot maximaal 20 % worden toegevoegd, betongranulaat is beter geschikt en kan zelfs tot meer dan 90 % van natuurlijke grondstoffen (grind) vervangen. Hiermee kan de kwaliteit van 'nieuw' beton worden bereikt, echter er is extra aandacht nodig voor de inname van betongranulaat en de toestand van het gerecyclede beton.

Het gebruik van betongranulaat als toeslagmateriaal kent onder andere de volgende haken en ogen:

- aangepaste rekenregels gelden voor de toepassing van meer dan 50 % betongranulaat in de productie van nieuw beton;
- bij de productie van het betongranulaat komt veel fijn materiaal vrij, circa 50 % van het oorspronkelijke volume¹. Een markt voor dit materiaal is er niet;
- er is alsnog veel energie nodig bij het breken van het oude beton en verhitten tot nieuw beton;
- er komen afvalstromen (slib) vrij bij het reinigen van het afgevoerde betongranulaat, waarvoor in het algemeen geen markt bestaat²;
- bij het toepassen van betongranulaat of menggranulaat als grondstof voor beton moet wel extra aandacht worden besteed aan de toename van krimp en kruip (blijvende vormverandering door de invloed van krachten).

Dat de toepassing van gerecycled beton echter goed mogelijk is, blijkt uit het viaduct bij Moordrecht. Dit was het eerste GWW-project dat voor ten minste 50 % van gerecycled beton is geproduceerd. Men vroeg zich vooraf af of de toepassing van gerecycled beton zou kunnen leiden tot verkleuring en mogelijke nadelige effecten op de kwaliteit en levensduur van het beton. Na uitvoerig onderzoek is besloten dat het viaduct met dit type beton gebouwd kon worden. Met frequente monitoring wordt de staat van het beton in de gaten gehouden. Er blijken vooralsnog geen nadelen te zijn van de toepassing van het gerecyclede beton. Dit voorbeeld laat zien dat in het voortraject extra inspanning geleverd moet worden door de partij die aanbesteed. Tegelijkertijd moet de opdrachtnemende partij voldoende vrijheid krijgen om nieuwe innovaties mogelijk te maken, maar op deze wijze kan wel een bijdrage worden geleverd aan de doelstelling van 50 % minder grondstoffen in 2030.

4.2.4 Wat gebeurt er met de materialen?

Het beton wordt afgevoerd en op een externe bouw- of werkplaats gebroken tot betongranulaat. Doordat het beton weinig is vermengd met metselwerk en natuursteen nemen we aan dat al het vrijkomende materiaal als betongranulaat kan worden afgevoerd. Dit betekent echter nog niet dat het wordt gebruikt in de betonindustrie als toeslagmateriaal. In Nederland wordt nog steeds 85 % van het bouw materiaal hergebruikt als secundaire bouwstof in bijvoorbeeld wegverhardingen. Wij gaan er vanuit dat ook een dergelijk percentage van toepassing is op het vrijkomende betongranulaat in dit project.

Het staal wordt afgevoerd in grote stukken waarna het wordt verkleind, om het geaccepteerd te krijgen voor de recyclingindustrie (staalindustrie). Deze worden uiteindelijk samen met erts versmolten tot nieuwe stalen balken of andere stalen objecten.

¹ Oud Beton wordt Jong Beton, Betoniek, 8 november 2011, Betoniek, Band 15, Uitgave 19.

² Al zijn er wel voorbeelden bekend van de keramische industrie die het slib verwerken kunnen.

In de praktijk zal er niet sprake zijn van afgevoerde materialen in 100 % gescheiden stromen. In sommige gevallen zullen beton en staal niet te scheiden zijn. We hebben echter niet voldoende informatie om hier een inschatting van te kunnen maken, dus wordt in de scenario's geen rekening mee gehouden met de afvoer van gemengde materiaalstromen.

4.3 Scenario 1

4.3.1 Algemeen

Scenario 1 beschrijft het hergebruik van de hoofddraagconstructie van de stalen fietsbrug en hoofddraagconstructie van de betonnen fietsaanbrug. Voor de uitwerking van dit scenario is gekozen om deze concreet uit te werken voor toepassing als fietsbrug bij de spoorbrug in Culemborg. In Culemborg wil ProRail haar spoorbrug uitbreiden met een fietspad. De afmetingen van de spoorbrug zijn vergelijkbaar met de oude brug, namelijk ook een overspanning van circa 160 meter. Tegelijkertijd is de fietsbrug op basis van de inspectie goed te demonteren. Dit maakt het hergebruik van de fietsbrug een realistisch scenario.

De exacte plannen van ProRail zijn niet bekend. Voor de uitwerking van dit scenario hebben wij zelf een mogelijke inpassing van de fietsbrug ontwikkeld op hoofdlijnen (zie afbeelding 4.2). Dit scenario gaat uit van hergebruik van de volgende onderdelen:

- hoofddraagconstructie van stalen fietsbrug van beide zijden, in totaal dus acht fietsbrugdelen van 40 meter (orthotroop dek + consoles);
- hoofddraagconstructie van vier betonnen aanbruggen, voor de overbrugging naar het bestaande fietspad in de uiterwaarden aan de noordzijde. Voor de zuidoever wordt aangenomen dat de bestaande spoordijk (grondlichaam) wordt uitgebreid en dat hier geen aanbrug nodig is;
- in principe zou de bestaande slijtlaag van asphalt op de fietsbrug en fietsaanbrug ook kunnen worden hergebruikt, maar dit hebben we niet meegenomen in de uitwerking van het scenario en berekening van CO₂-besparing en kosten (in hoofdstuk 5) aangezien het frezen van het asphalt in alle varianten vergelijkbaar is. De leuning is niet herbruikbaar omdat deze overklauterbaar is. De geleiderail is niet herbruikbaar omdat de plunjerpalen niet meer voldoen aan huidige regelgeving.

Navolgend zijn de randvoorwaarden en kanttekeningen voor dit scenario nader toegelicht.

Afbeelding 4.2 Visualisatie van hergebruik van de fietsbrug en aanbrug bij de spoorbrug in Culemborg



4.3.2 Randvoorwaarden

Voor scenario 1 moet aan de volgende randvoorwaarden worden voldaan:

- 1 de fietsbrug en aanbrug moeten te demonteren zijn; op basis van de visuele inspectie behoort dat naar verwachting tot de mogelijkheid;
- 2 de gedemonteerde delen moeten te hijsen en te vervoeren zijn;
- 3 de onderdelen moeten inpasbaar zijn in de bestaande constructie.

1. Demontage van de fietsbrug en aanbrug

De hoofd draagconstructie van de fietsbrug is opgebouwd uit onderdelen van 40 meter lengte, welke zijn bevestigd met consoles aan de boogbrug. De consoles zijn vermoedelijk met bouten vastgezet aan de hoofd dragers van de boogbrug. Dit betekent dat de fietsbrug relatief eenvoudig is te demonteren door de boutverbindingen los te maken. De betonnen aanbrug ligt op rubberen blokken op de pijlers en ook tussen de aanbrugdelen zit een rubberen voegovergang. Dit betekent dat de onderdelen van 40 meter van de draagconstructie van de aanbrug (dubbele T-profiel) in principe losliggen en in zijn geheel zijn te verwijderen zonder grootschalige demontage activiteiten.

2. De demonteerde delen moeten te hijsen en te vervoeren

Het gewicht van de hoofd draagconstructie van de stalen fietsbrug wordt in totaal geschat op circa 720 ton staal. Dit betekent dat één deel van 40 meter circa 90 ton weegt. Dit zijn gangbare afmetingen en gewichten welke naar verwachting zonder bijzondere inspanningen of inzet van materieel zijn te transporteren naar de spoorbrug in Culemborg.

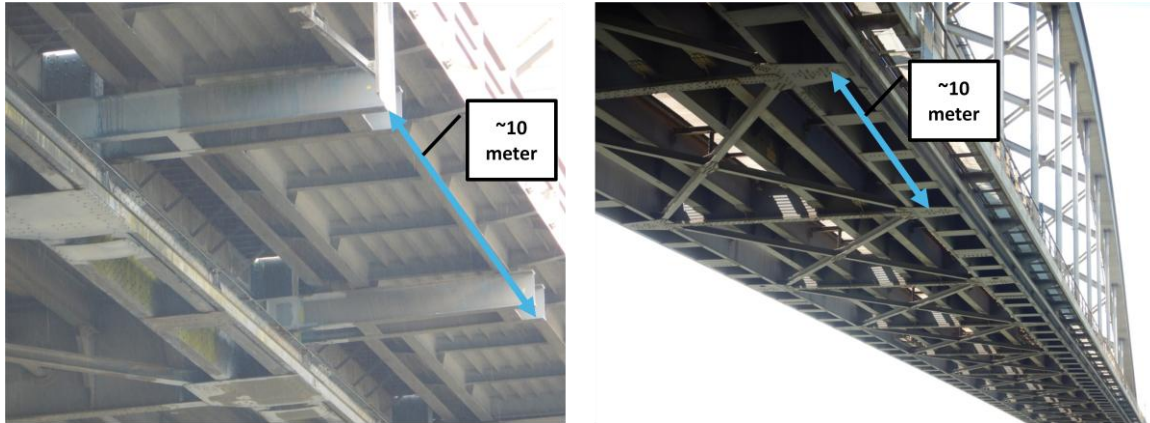
De betonnen aanbruggen wegen circa 200 ton per element van 40 meter. In het meest optimistische geval zijn circa twee kranen van circa 400 ton nodig om een element van 200 ton te hijsen. De afstand van de kranen ten opzichte van de liggers mag dan slechts enkele meters zijn. De in te zetten kranen zijn relatief zwaar. Het transport van de betonnen aanbruggen behoort tot de mogelijkheden, maar de daadwerkelijke mogelijkheden moeten specifiek worden onderzocht.

3. De onderdelen moeten inpasbaar zijn in de bestaande constructie

Stalen fietsbrug

De spoorbrug bij Culemborg heeft ook een overspanning van circa 160 meter. Ook de opbouw van de hoofd draagconstructie van beide bruggen is vergelijkbaar. Het aantal hangers en de afstand tussen de hangers van beide bruggen is gelijk. Op basis hiervan is ingeschat dat de afstand tussen de dwarsverbindingen/consoles van de fietsbrug en de afstand tussen de dwarsverbindingen van de spoorbrug ook gelijk zouden moeten zijn, namelijk circa 10 meter (zie afbeelding 4.2). Dit betekent dat de consoles van de fietsbrug kunnen worden aangesloten op dwarsliggers van de spoorbrug. Dit is constructief gezien het meest gunstige scenario, omdat hierdoor mogelijk geen aanvullende versterkende maatregelen nodig zijn aan de spoorbrug om de fietsbrug te dragen. Dit zal overigens in nader constructief onderzoek verder moeten worden onderzocht. Overigens zal voor de bevestiging van de fietsbrug het bestaande inspectiepad aan de spoorbrug moeten worden verwijderd.

Afbeelding 4.3 Afstand tussen consoles fietsbrug Vianen (links) en afstand tussen dwarsverbindingen spoorbrug Culemborg rechts)



Betonnen aanbrug

Aan de noordzijde loopt op circa 100 meter van de oever een fietspad op een dijkje. Aangenomen is dat het fietsbrug hierop aangesloten zal worden en dat vier betonnen aanbruggen (2x2 delen van 40 meter) worden gebruikt om dit te overbruggen. Voor de bevestiging van de betonnen aanbruggen zullen de staande pijlers moeten worden uitgebreid. Hierbij is aangenomen dat deze werkzaamheden ook moeten worden uitgevoerd in geval wordt gekozen voor nieuwbouw van de aanbrug en daarom zijn deze werkzaamheden niet meegenomen in de uitwerking van deze variant.

Afbeelding 4.4 Bestaande aanbruggen aan noordzijde spoorbrug Culemborg



4.3.3 Kanttekeningen

Ten tijde van dit onderzoek was ons alleen bekend dat ProRail plannen heeft voor een fietsbrug langs de bestaande spoorbrug in Culemborg. Wij hebben geen verdere informatie gehad over deze plannen en wij beschikken ook niet over concrete informatie (tekeningen, maatvoeringen of iets dergelijks) over de spoorbrug bij Culemborg. De uitwerking van dit scenario berust dus volledig op een grove inschatting van Witteveen+Bos op basis van enkele foto's van de spoorbrug, die na de inspectie van de brug bij Vianen zijn gemaakt.

Onderstaande aannames zullen eerst moeten worden geverifieerd met ProRail en/of worden gecontroleerd met nader onderzoek om te kunnen beoordelen of hergebruik van fietsbrug bij de spoorbrug van Culemborg daadwerkelijk kansrijk is:

- de spoorbrug aan beide zijden wordt voorzien van een fietsbrug;
- de conditie van de fietsbrug geen gebreken vormt en dat de restlevensduur vergelijkbaar is met nieuwbouw;
- de fietsbrug is bevestigd met boutverbindingen;
- er geen constructieve aanpassingen hoeven te worden gedaan aan de spoorbrug ten behoeve van de bevestiging van de fietsbrug.

4.4 Scenario 2

4.4.1 Algemeen

In scenario 2 wordt de gehele hoofdoverspanning en aanbruggen hergebruikt in een situatie met vergelijkbare afmetingen.

4.4.2 Randvoorwaarden

Voor scenario 2 moet aan de volgende randvoorwaarden worden voldaan:

- 1 er is vraag nodig naar de brug op een nieuwe locatie;
- 2 de oude brug moet te demonteren zijn;
- 3 de gedemonteerde delen moeten te hijsen en te vervoeren zijn;
- 4 de gedemonteerde delen moeten opgewaardeerd kunnen worden;
- 5 de onderdelen moeten weer gemonteerd kunnen worden.

Vraag naar de brug

In principe zijn de hoofdoverspanning en aanbruggen los van elkaar her te gebruiken. De aanbruggen zijn her te gebruiken in delen van 40 meter, mogelijk zelfs in kleinere delen van 7 meter. Dit betekent dat er voor de aanbruggen gebruikt kunnen worden voor de overspanning van een variabele lengte. De hergebruikmogelijkheden zijn hierdoor ruimer dan voor de hoofdoverspanning. In het geval van de brug bij Vianen is de hoofdoverspanning 160 meter. Ook moet de capaciteit van de brug, 2x2 rijbanen en twee fietsdekken voldoen aan de benodigde capaciteit. Verder moet de brug nog steeds voldoende draagvermogen hebben om deze verkeerscapaciteit te kunnen dragen.

In de afgelopen 15 jaar zijn meerdere bruggen met vergelijkende afmetingen en capaciteit gebouwd. Sinds de brug bij Vianen buiten gebruik is genomen zijn alleen al in Utrecht de volgende bruggen gebouwd:

- Hogeweidebrug: gele boogbrug, met 2x2 rijbanen en fietspaden, gebouwd in 2008;
- Dafne Schippers brug: een voetgangers- en fietsbrug, zelfde afmetingen, echter een ander ontwerp, gebouwd in 2017;
- Prins Clausbrug: een tuibrug met 2x2 rijbanen en vrije fietspaden, gebouwd in 2003.

De Hogeweidebrug komt wat betreft overspanning (ook 160 meter) en het aantal rijbanen (2x2 rijbanen en fietspaden) het meeste overeen met de brug bij Vianen. Een foto is hieronder weergegeven.

Afbeelding 4.5 De gele Hogeweidebrug aan de westkant van Utrecht, welke het Amsterdam Rijnkanaal overspant.



Een brug van vergelijkbare grootte en capaciteit is dus een realistisch scenario. De vraag resteert echter wel of dat de oude brug nog steeds hetzelfde draagvermogen heeft. Gezien de reeds verstreken levensduur en het minimale onderhoud in de afgelopen 20 jaar, kan het draagvermogen achteruit zijn gegaan. Voornamelijk wordt aangenomen dat de brug nog wel voldoet aan het draagvermogen. Dit dient bevestigd te worden door onderzoek naar de huidige staat van de brug, waarbij moet worden nagegaan of deze nog voldoet aan de huidige ontwerp-eisen en normen.

4.4.3 De oude brug moet te demonteren zijn

De brug moet technisch gezien uit elkaar te halen zijn, zonder dat de onderdelen beschadigd raken. De hoofdoverspanning en aanbruggen van de hoofdrijbaan zijn volledig gemonteerd met klinknagelverbindingen, waarvan de klinknagels versmolten zijn. Deze zijn niet zomaar te demonteren. De brug zal in verschillende delen gesneden moeten worden, waarna de klinknagels uitgeboord worden. Vervolgens kunnen verbindingenplaten gezet worden over de gezaagde losse delen geplaatst worden, waarna ze weer verbonden kunnen worden met bouten of klinknagels. Deze handeling is arbeidsintensief, maar de inschatting is dat op deze manier de sterkte van de brug wel behouden kan blijven.

Er wordt vanuit gegaan dat de benodigde inspanningen bij conventionele sloop of hergebruik elkaar niet veel ontlopen. In het geval van het beton, moet de omgeving ook voorbereid worden op transport naar de nieuwe locatie. Voor de stalen hoofdconstructie wordt aangenomen dat de boog in het geval van hergebruik in twee delen gesneden wordt en bij conventionele sloop wellicht in vijf delen. Maar bij het hergebruik moet de constructie weer gereed gemaakt moeten worden voor transport, dus zijn er bijvoorbeeld extra versterkingen in het brugdeel nodig. We hebben aangenomen dat deze (extra) inspanningen niet onderscheidend zijn.

4.4.4 Hijsen en vervoer

De hoofdoverspanning en aanbruggen worden opgedeeld in delen en vervolgens per schip vervoerd. Deze handelingen zijn vergelijkbaar met het nulscenario. De mate waarin gedemonteerd wordt, hangt af van de eisen die gesteld worden aan het transport en veiligheid van de uitvoering van de werkzaamheden.

De volgende uitgangspunten worden gehanteerd:

- de windverbanden en hangers worden gedemonteerd;
- ieder boogdeel van de brug kan worden opgedeeld in twee delen en vervolgens vervoerd worden;
- de vaarwegen en bijbehorende sluisen bepalen de maximale maat voor het vervoer van de brugdelen. Een korte inventarisatie van de vaarroutes via de Lek naar het Amsterdam-Rijnkanaal en IJmuiden limiteert de maximale afmetingen van binnenvaartschepen tot 85x9,5 meter. Daaruit volgt dat het wegdek gedeeld kan worden in minimaal twee stukken en maximaal vier;
- ook de aanbruggen worden opgedeeld in stukken die geschikt zijn voor vervoer per binnenvaartschip.

4.4.5 Opwaarderen

Hoofddraagconstructie staal

De huidige conserveringslaag van het staal is aan vervanging toe. Uit de inspectie blijkt dat de beschermingslaag aan het verkrijten is. Deze zal dus gestraald moeten worden, om vervolgens van een nieuwe laag voorzien te worden. De aangetroffen oranje kleur wijst uit dat in de beschermingslaag naar verwachting loodmenie is toegepast. Er zullen extra beschermingsmaatregelen moeten worden genomen op het moment dat deze laag wordt verwijderd aangezien loodmenie giftig is. Deze werkzaamheden kunnen worden uitgevoerd in een speciaal hiervoor ingerichte werkplaats. Indien het de voorkeur heeft om de brug direct te verplaatsen, zal de gehele brug ingepakt moeten worden waarbij vrijkomend straalstof wordt opgevangen en afgevoerd (dit is overigens eveneens een gangbare praktijk). De werknemers die aan het werk zijn, zullen geschikte PBM's moeten dragen.

Daarnaast zijn de verbindingen na demontage niet 1-op-1 her te gebruiken. Doordat de klinknagels versmolten zijn met de constructie is ter plekke van de verbindingen een profiel ontstaan met reliëf. Het aanbrengen van koppelplaten vraagt echter om een effen oppervlak. Ter hoogte van de verbindingstukken moet rekening gehouden worden met het uitboren van alle klinknagels, om zo een effen mogelijk oppervlak te realiseren. Vervolgens kunnen koppelplaten met boutverbindingen worden aangebracht om de verschillende onderdelen weer aan elkaar te zetten. Theoretisch gezien moet het mogelijk zijn zo de sterkte van de constructie te behouden. Uiteraard dient een uitgebreider onderzoek hier uitsluitsel over te geven.

Hoofddraagconstructie beton

Er moeten ook reparaties worden uitgevoerd aan het beton. In een eerdere inspectie uit 2011, is aangegeven dat betonschade mogelijk een risico kan vormen. Het inspectierapport is er niet duidelijk over, maar constructieve overbelasting is naar verwachting niet de oorzaak van de geconstateerde schades. Dat zou vooraf middels nader onderzoek bestaande uit een materiaalsterkte onderzoek en een herberekening moeten worden vastgesteld. Mocht constructieve overbelasting wel het geval zijn, dan is de ligger zeer waarschijnlijk niet meer bruikbaar en zal gesloopt moeten worden. Versterking van het beton vraagt namelijk een hoge inspanning.

Vooralsnog wordt dit scenario niet waarschijnlijk geacht en wordt aangenomen dat aantasting van beton en betonstaal door invloeden van buitenaf de oorzaak is. Middels materiaalonderzoek en daarna betonreparatie kan de schade hersteld worden. Bij reparatie wordt het aangetaste beton verwijderd, het betonstaal geconserveerd en tot slot wordt het beton weer gerepareerd met een (polymeer gemodificeerde) cementgebonden mortel. Dit is een extra kostenpost en dergelijke schade blijft een zwakke plek welke aandacht en dus geld zal blijven kosten in de toekomst. De schade lijkt vooralsnog een relatief beperkte omvang te hebben.

4.4.6 Montage van de onderdelen

De montage van de onderdelen is beschreven in de vorige paragraaf. Koppelplaten in combinatie met boutverbindingen zullen gebruikt worden om de onderdelen aan elkaar te maken.

4.4.7 Kanttekeningen

We hebben geen gedetailleerd beeld van de inspanning die nodig is voor het vervoer van de brug, het demonteren en de inspanning die nodig is voor de conservering van het materiaal. We hebben aannames gedaan dat deze van vergelijkbare grootte zijn als in het sloopscenario en daarom niet onderscheidend zijn. Een uitgebreider onderzoek naar deze aspecten moet nog worden uitgevoerd om te bepalen hoe realistisch dit scenario is en of deze aannames kloppen.

4.5 Scenario 3

4.5.1 Algemeen

In scenario 3 wordt de gehele brug in delen opgedeeld die gangbaar zijn in de constructiebouw van gebouwen. Aanvankelijk is bekeken naar de mogelijkheid om van de elementen die vrijkomen, één nieuw gebouw te maken. Hiermee kan een deel van de emotionele waarde van de brug bewaard worden en tegelijkertijd een nieuw gebouw worden geconstrueerd. Het is echter niet waarschijnlijk dat met de elementen die vrijkomen van de brug één gebouw gemaakt kan worden. Dit zal dan resulteren in een artistiek bouwwerk zoals bijvoorbeeld is gebouwd vlakbij Madrid (zie afbeelding 4.6). Vanzelfsprekend leidt dit tot sterke overdimensionering en dit voorbeeld is dan vooral vanuit esthetisch oogpunt relevant en niet realistisch om op grote schaal toe te passen.

In plaats van het maken van één nieuwe constructie uit de brug, is daarom gekeken naar de mogelijkheid om verschillende elementen uit de brug te halen en te bewerken zodat maatvoering en conservering geschikt zijn voor het gebruik in de constructiebouw.

De volgende aspecten zijn hiervoor nodig:

- 1 de brugonderdelen moeten van gestandaardiseerde maatvoering zijn;
- 2 de oude brug moet te demonteren zijn;
- 3 de gedemonteerde delen moeten te hijsen en vervoeren zijn;
- 4 de gedemonteerde delen moeten opgewaardeerd kunnen worden;

Afbeelding 4.6 Een huis gebouwd van overgedimensioneerde constructiematerialen nabij Madrid (links) en een voorbeeld van hergebruik van afzonderlijke materialen als constructie-elementen (rechts)



4.5.2 Gestandaardiseerde constructiematerialen

Om te bepalen welk element her te gebruiken is als constructiemateriaal is gekeken naar de elementen uit de brug en of deze vermaakt kunnen worden naar balken, platen en dergelijke, met een standaard maatvoering zoals wordt toegepast in gebouwconstructies. Een verkeersbrug is gemaakt voor een grote belasting, wat betekent dat sommige onderdelen overgedimensioneerd zijn als ze worden hergebruikt in gebouwen. In bijlage IV is een inventarisatie opgenomen van de eerste inschatting welke elementen kunnen worden hergebruikt als constructiemateriaal in gebouwen.

Voor het beton is gekeken naar het verzagen van de liggers in verschillende balken, platen of stabiliteitskernen. Voor ieder architectonisch gebruik is bepaald welke aandachtspunten hierbij nodig zijn. Het beton wat verwerkt is in de rijvloer is niet geschikt geacht voor hergebruik, omdat het moeilijk te demonteren is.

Voor de I-profielen die vrijkomen in zowel de fietsbrug als de hoofdrijbaan (inclusief boogconstructie) is bepaald of dat de maatvoering van verschillende balken overeenkomt met die van standaard constructies. Het blijkt dat een groot deel van de balken kunnen worden hergebruikt. Alleen de zeer grote balken, zoals de dwarsliggers voor de hoofdrijbaan, zijn niet geschikt voor hergebruik. Deze zijn zwaar

overgedimensioneerd om te worden toegepast in gebouwen. De boogconstructie wordt door zijn gebogen vorm ook niet geschikt geacht voor hergebruik.

Er zijn geen massabalans beschikbaar van de verschillende stalen onderdelen. Daarom is een schatting gemaakt van de balken die her te gebruiken zijn. De grote elementen zijn tevens het zwaarst. We gaan er vanuit dat in totaal 33 % van al het vrijkomende staal van de hoofdrijbaan hergebruikt kan worden. Van het uitkragende fietspad zijn de elementen klein genoeg om hergebruikt te worden. We gaan er vanuit dat al het vrijkomende staal van het fietspad hergebruikt kan worden.

4.5.3 De oude brug moet te demonteren zijn

Het demonteren van de verschillende onderdelen wordt als vergelijkbaar ingeschat met de demontage van de bruggdelen in het nulscenario. De beperkte maximale afmeting van schroot is vergelijkbaar met de verschillende constructie elementen die vrijkomen. In dit scenario zullen de elementen wel met een hogere nauwkeurigheid verwijderd worden. Omdat maar een deel (33 %) van het totale gewicht geschikt wordt geacht voor hergebruik, gaan we er vanuit dat deze (extra) inspanning onderscheidend is.

4.5.4 Hijsen en vervoer

Het hijsen en het vervoer van de verschillende onderdelen van de brug zijn vergelijkbaar met de overige scenario's en het nulscenario. Deze handelingen worden daarom verder niet besproken.

4.5.5 Opwaarderen

Voor het opwaarderen van het staal moet de elementen gestraald worden en vervolgens worden geconserveerd. Eventuele vermoeiingsschade dient te worden gerepareerd. Vooral nog is het niet duidelijk of vermoeiingsschade is opgetreden, maar de meest kwetsbare punten zijn de verbindingstukken. De invloed op het hergebruik van de constructie-elementen is daarom verondersteld verwaarloosbaar te zijn.

4.5.6 Kanttekeningen

Er zijn een aantal kanttekeningen te maken bij dit scenario:

- wij hebben op basis van een ruwe schatting aangenomen dat 33 % van het oude staal kan worden hergebruikt en dat 100 % kan worden hergebruikt tot nieuw staal. We hebben geen massabalans van de brug op het niveau van de verschillende balken. We kunnen dus niet berekenen welk deel van de balken her te gebruiken is. Dit percentage kan in werkelijkheid dus verschillen;
- de extra inspanning die geleverd moet worden om het staal te demonteren is niet nauwkeurig te bepalen op basis van de huidige informatie. Hier dient nader onderzoek naar gedaan te worden;
- het beton wordt in dit scenario gezaagd tot nieuwe profielen. De draagkracht en toestand van de verschillende onderdelen moet bepaald worden nadat het in stukken is gezaagd.

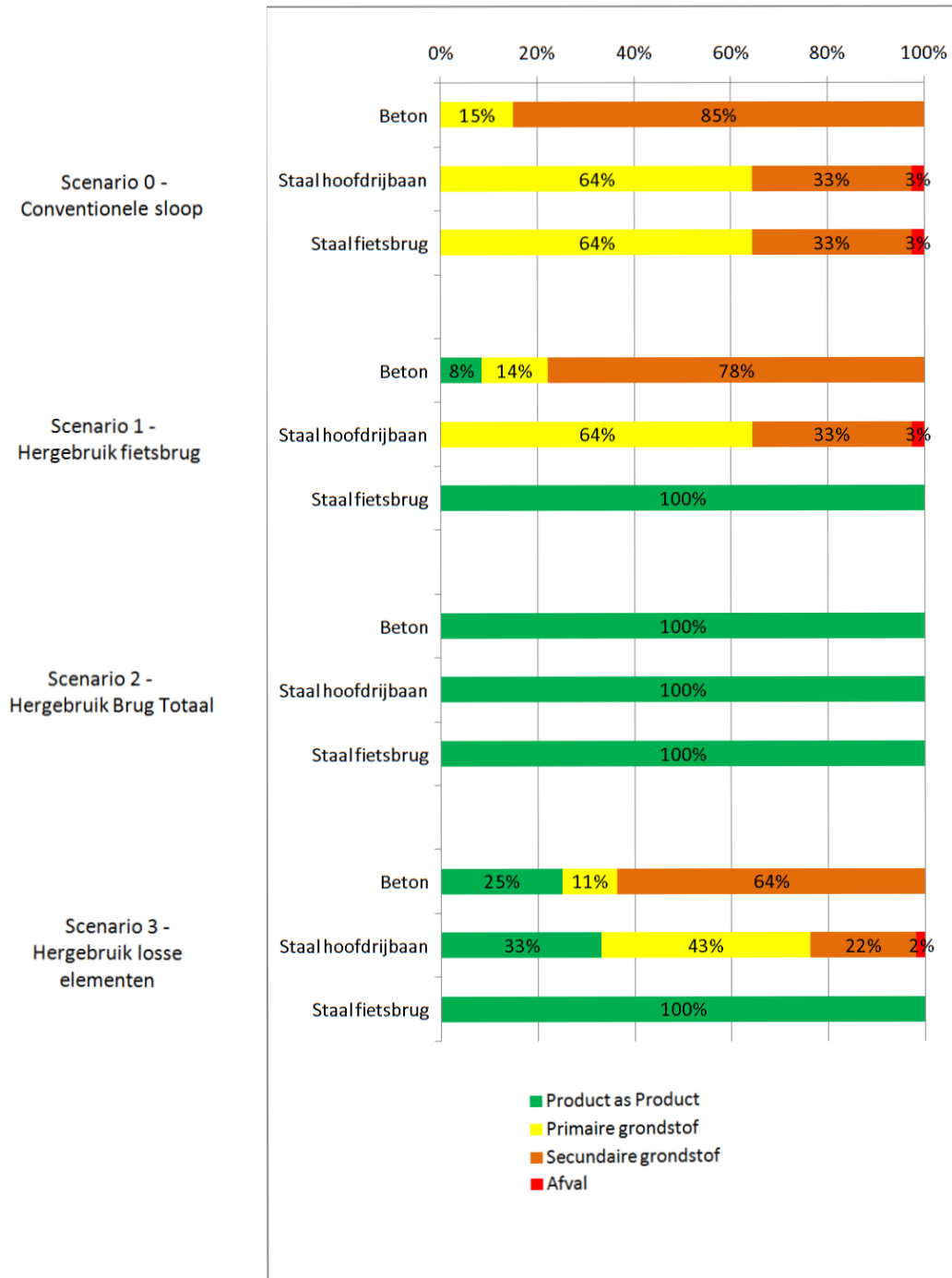
4.6 Mate van materiaal hergebruik en waardebehoud per scenario

In afbeelding 4.7 is (analoog aan de Ladder van Lansink) de mate van materiaal hergebruik en waardebehoud van de vier scenario's gescoord aan de hand van vier treden: (1) product voor product, (2) product voor primaire grondstof, (3) product voor secundaire bouwstof en tot slot (4) product naar afvalstof.

De percentages die in het scenario staan weergegeven, beschrijven het deel van de totale massa dat wordt hergebruikt. Deze zijn afgeleid van de scenario's zoals beschreven in de vorige paragrafen van hoofdstuk 4. Dit betekent dat de volgende aannames gedaan zijn:

- recycling van beton resulteert in 85 % secundaire bouwstof (laagwaardiger gebruik zoals funderingsmateriaal) en 15 % als primaire bouwstof (wordt weer vermaakt tot beton), dit is beschreven in paragraaf 4.2.4;
- recycling van staal resulteert in 64 % nieuw staal, 33 % secundair materiaal en 3 % afval, dit is beschreven in paragraaf 4.2.3).

Afbeelding 4.7 Het hergebruik per scenario weergegeven, uitgedrukt in percentages ten opzichte de totale massa van het materiaal



5

INDICATIEVE BEPALING VAN DUURZAAMHEIDWINST EN KOSTEN

De duurzaamheidwinst en besparing op kosten zijn berekend op basis van het hergebruik van de onderscheidende materialen, zoals beschreven in hoofdstuk 4. We maken voor de berekening gebruik van drie stappen:

- 1 onderscheidende activiteiten en materialen aanwijzen;
- 2 massabalans verdelen over de decompositie;
- 3 vermenigvuldigen met de emissiefactoren en kosten kentallen.

5.1 Onderscheidende activiteiten en materialen aanwijzen

Voor ieder scenario worden materialen op een andere wijze hergebruikt. Dit is in het vorige hoofdstuk al beschreven op detailniveau en wordt in tabel 5.1 op hoofdlijnen samengevat.

Tabel 5.1 Activiteiten die uitgevoerd worden om het materiaal per scenario her te gebruiken.

Beschrijving scenario's	Hoofdoverspanning		Aanbruggen	
	Hoofdrijbaan (inclusief boog)	Fietsgedeelte	Hoofdrijbaan	Fietsgedeelte
scenario 1 - realistisch (fiets)	n.v.t.	demonteren en conserveren in delen van 40 meter	n.v.t.	twee liggers worden gedemonteerd en hergebruikt
scenario 2 - optimistisch (alles)	alles wordt hergebruikt, met uitzondering van de niet onderscheidende delen	demonteren en conserveren in delen van 40 meter	alles wordt hergebruikt, met uitzondering van de niet onderscheidende delen	alle zestien liggers worden gedemonteerd en hergebruikt
scenario 3 - alternatief	selecteren en verzagen van de kansrijke onderdelen. Dwarsliggers worden niet hergebruikt	platen en consoles demonteren en in standaardmaten zagen	n.v.t.	de zestien liggers worden gedemonteerd en verzaagd tot standaardmaterialen

Het transport is voor de scenario's niet berekend. De locatie waar de materialen in de verschillende scenario's worden hergebruikt is wel bepaald, waardoor de bijbehorende kosten en uitstoot met het vervoer van de hergebruikte materialen kan worden aangenomen. Echter de afstand van het vervoer naar een opslagplaats en vervolgens een werkplaats waar geconserveerd wordt, is niet bekend. Tevens is de afstand die het nieuwe materiaal aflegt niet bekend.

Er kan echter wel beredeneerd worden dat vervoer voordelig uitvalt in het scenario van materiaalhergebruik. In het geval dat nieuw materiaal gebruikt wordt in scenario 1, 2 of 3 moet namelijk zowel het oude materiaal worden afgevoerd naar de plaats van recycling en vervolgens moet het nieuwe

materiaal vervoerd worden naar de locatie van gebruik. Bovendien zal voor productie van nieuw staal ook transport plaatsvinden van erts naar de hoogovens, wat een grotere afstand bedraagt dan de afstand tussen de brug en de hoogovens. Er is dus sprake van meerdere vervoershandelingen wanneer nieuw materiaal wordt gebruikt.

De handelingen in scenario 3 zijn intensiever en complexer dan die voor scenario 1 en 2. Het staal wordt namelijk in veel kleine losse elementen (balken) gedeeld en de betonnen liggers van het fietsgedeelte worden verzaagd in bruikbare betonnen elementen. De inspanning die hiervoor wordt geleverd is zeer arbeidsintensief maar, vraagt beperkte inzet van zwaar materieel. De inspanning die geleverd wordt heeft, dus wel een invloed op de kosten maar een verwaarloosbare invloed op de uitstoot van CO₂.

5.2 Massabalans verdelen over de decompositie

De massabalans zoals verstrekt door Rijkswaterstaat is gebruikt om een inschatting te geven van de hoeveelheid materiaal die vrijkomt in ieder scenario. Op basis van grove kentallen is van de verschillende onderdelen berekend hoeveel materiaal er vrijkomt. De getallen staan beschreven in tabel 5.2.

Tabel 5.2 De vrijgekomen hoeveelheden materiaal per scenario

	Hoofdoverspanning		Aanbruggen	
	Hoofdrijbaan (inclusief boog)	Fietsdek	Hoofdrijbaan	Fietsdek
scenario 1	niets	720 ton staal	niets	vier liggers: 800 ton beton
scenario 2	2.288 ton staal 1.213 ton beton	720 ton staal	4.101 ton staal 2.600 ton beton	zestien liggers: 3.200 ton beton
scenario 3	755 ton staal (1/3 van totaal)	720 ton staal	1.230 ton staal (1/3 van totaal)	zestien liggers: 3.200 ton beton

Voor de massaverdeling zijn de onderstaande uitgangspunten gehanteerd:

- de massa staal van de brug is verdeeld, waarbij 25 % van het totale staalgewicht is toe te rekenen aan het fietsgedeelte en 75 % aan de hoofdrijbaan;
- voor scenario 3 is aangenomen dat 33 % van het vrijkomende staal van de hoofdbrug en 100 % van de stalen fietsbrug en betonnen aanbrug kan worden hergebruikt worden als een product;
- een nauwkeurige inschatting van de massabalans per geïnventariseerd onderdeel is niet uitgevoerd, maar zou in een definitieve uitwerking van de scenario's wel plaats moeten vinden;
- de betonnen liggers die onder het fietsgedeelte liggen hebben een lengte van 40 meter per stuk. Op basis van een schatting van hun afmetingen en de dichtheid van gewapend beton is hun gewicht berekend op circa 200 ton per stuk.

5.3 Kentallen

De opbrengst van ieder scenario is gelijk aan de kosten die bespaard worden als het scenario opgebouwd zou zijn met nieuwe materialen.

5.3.1 Kentallen staal

De directe kosten van nieuw staal om in een constructie verwerkt te worden zijn opgebouwd uit verschillende kostenposten en uitgesplitst in tabel 5.3 in de tweede kolom. De directe kosten voor de bouw van een stalen brugconstructie zijn in totaal EUR 4,50 per kg staal. Vervolgens is kolom 3 t/m 6 beschreven welke besparing gerealiseerd wordt door het hergebruik van het vrijkomende staal per scenario. In de blauwe en doorgehaalde cellen staat weergegeven op welke kostenposten wordt bespaard.

Tabel 5.3 Schatting van de opbouw van kosten om te komen tot een stalen constructie

Staalconstructie	Kosten kentallen per kg (in EUR)*	Scenario 1 (in EUR)	Scenario 2a - hoofdrijbaan (in EUR)	Scenario 2b - fietspad (in EUR)	Scenario 3 (in EUR)
leveren (produceren) constructiestaal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
fabricage	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
conserveren (incl. stralen en coating)	0,60	0,60		0,60	
samenstellen prefab constructieonderdelen	0,75	0,75	0,75	0,75	
transporteren	0,05				
monteren onderdelen tot geheel	1,10				
totaal directe kosten per kg staal**	4,50				
bespaarde fictieve kosten per scenario		3,35	2,75	3,35	2,00

* Deze kentallen zijn afgeleid van vergelijkbare bouwprojecten en betreffen een grove inschatting.

** Niet inbegrepen in de directe kosten zijn onder andere de kosten voor nadere detaillering, indirecte kosten (uitvoeringskosten, algemene kosten, winst&risico) en risicoservering.

Scenario 1

Het staal van de fietsbrug komt in volledige prefab onderdelen vrij en verkeert nog in goede staat. Het vervangt de kostenposten vanaf het produceren van het constructiestaal tot en met het samenstellen tot prefab constructieonderdelen. Dus om dit staal toe te passen in het hergebruikscenario hoeft het alleen nog getransporteerd en gemonteerd te worden. Dit betekent dat de fictieve besparing van het staal van de fietsbrug neerkomt op: $1,00 + 1,00 + 0,60 + 0,75 = \text{EUR } 3,35$ per kg bedraagt.

Scenario 2

Het staal van de fietsbrug en het hoofdrijbaan (boogbrug) verschillen in conditie. Het staal van de boogbrug levert een kleinere fictieve opbrengst op van: EUR 2,75 per kg staal. Dit staal moet namelijk worden geconserveerd, maar is al wel samengesteld uit monteerbare onderdelen. De fictieve besparing is opgebouwd uit een besparing van het produceren van het constructiestaal (EUR 1,00), de fabricage van stalen balken (EUR 1,00) en de samenstelling van de verschillende constructieonderdelen (EUR 0,75).

Het fietsgedeelte verkeert nog in goede staat. Het staal van het fietspad heeft dezelfde conditie als in scenario 1 en daarom dezelfde fictieve besparing als in scenario 1: EUR 3,35 per kg.

Scenario 3

In het geval van scenario 3 worden elementen opgeleverd als losse constructieonderdelen. Het staal heeft in dit scenario een fictieve waarde van EUR 2,00 per kg.

CO₂-uitstoot

Voor het bepalen van de besparing op CO₂-uitstoot wordt uitgegaan van de CO₂ die vrijkomt bij het produceren van staal. Hierbij gaan we uit van de emissiefactor van het IPCC: 1,06¹ ton CO₂ equivalenten/ton staal. Omdat de CO₂-uitstoot bij de productie van staal vele malen groter is dan de overige stappen, wordt geen onderscheid gemaakt in de verschillende stappen en gedifferentieerd in CO₂-uitstoot per kostenpost. Dit betekent dat de CO₂-besparing, gebaseerd is op de totale massa staal dat per scenario wordt hergebruikt.

5.3.2 Kentallen beton

De opbrengst van het beton is gelijk aan de prijs van betonnen balken. Hier wordt geen onderscheid gemaakt in de verschillende onderdelen. Er wordt uitgegaan van een EUR 230,-- per ton besparing in geval van hergebruik als balk. Dit bedrag ligt aanzienlijk hoger dan wanneer beton wordt vermalen tot een secundaire bouwstof, te weten granulaat.

Het beton vertoont echter wel lichte beschadigingen, zoals blijkt uit de inspectie. Minder dan 1 % van het beton is beschadigd. We gaan uit van maximaal 300 beschadigingen van maximaal 0,2 m² groot in het scenario dat al het beton wordt hergebruikt. Iedere reparatie zal circa EUR 100,-- kosten. Dit resulteert in een kostenpost van EUR 30.000,--. In scenario 1 zal slechts 1/8 van deze kosten gemaakt worden, in scenario 3 zal 3/4 van deze kostenpost gemaakt worden.

De CO₂ opbrengst wordt geschat op basis van de bespaarde CO₂-uitstoot van de productie van beton. Dit is circa 280-300 kg CO₂ per ton beton². In dit onderzoek gaan we uit van een gemiddelde van 290 kg CO₂ equivalenten per ton beton. Er wordt geen CO₂-uitstoot berekend voor de reparatie.

5.3.3 Correctie voor de levensduur

Het beton en het staal dat vrijkomt uit de brug heeft nog steeds een technische levensduur; het is echter niet waarschijnlijk dat die gelijk is aan nieuw materiaal. Gedetailleerd onderzoek van de huidige toestand van de verschillende elementen moet uitwijzen wat de restlevensduur is.

Voor dit onderzoek is een aanname gedaan van de resterende levensduur. Zowel het beton als het staal vertonen weinig mankementen, terwijl het materiaal toch al lang dienst doet als brug. Op basis van deze observatie kan worden aangenomen dat het om een hoge kwaliteit materiaal gaat. Dit wordt ondersteund omdat de brug gebouwd is in een tijdperk waarin zeer degelijke constructies zijn uitgevoerd.

Op basis van de visuele inspectie en expert judgement wordt aangenomen dat:

- het staal van het fietspad nog 90 % van de levensduur van nieuw materiaal heeft;
- het staal van de hoofdrijbaan nog 75 % van de levensduur van nieuw materiaal heeft;
- het beton nog 75 % van de levensduur van nieuw materiaal heeft.

5.4 Uitkomsten

In tabel 5.4 is aangegeven hoeveel ieder scenario opbrengt en hoeveel CO₂ er uitgestoten wordt in iedere variant in vergelijking met het nul-scenario. De kosten en uitstoot zijn berekend op basis van de massabalans en kentallen zoals in dit hoofdstuk beschreven.

¹ 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories (volume 3, chapter 4, table 4.1), 2006.

² Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw, CE-Delft, april 2013.

Tabel 5.4 Berekening/scoring van de verschillende varianten

Beschrijving variant	Baten door middel van besparingen (in EUR)	CO ₂ -uitstoot bespaard (kg CO ₂ equivalenten)
variant 0	geen kosten- of CO ₂ berekend, alleen kwalitatief beschreven	
scenario 1 - hergebruik van de fietsbrug	2.304.550,00	995.200
scenario 2 - hergebruik van de totale brug	16.134.225,00	9.569.040
scenario 3 - hergebruik van de elementen	4.560.960,00	3.490.838

De tabel laat zien dat bij het hergebruik van de brug in zijn geheel (scenario 2) de meeste besparing op CO₂-uitstoot wordt gerealiseerd en tevens de grootste opbrengst oplevert in vergelijking met het nul-scenario. Het is echter minder waarschijnlijk dat dit scenario daadwerkelijk plaats zal vinden, omdat het niet bekend is of dat er in de nabije omgeving behoefte is aan een vergelijkbare overspanning.

In scenario 3 wordt het staal en de bruikbare betondelen in elementen gedeeld en hergebruikt. Dit heeft tevens een positief scenario in financiële zin als in CO₂-besparing. Het grootste aandachtspunt bij dit scenario is de mate waarin de verschillende elementen daadwerkelijk te zijn demonteren zonder grote beschadigingen. Het uitwerken van dit scenario zal moeten gebeuren na een verbeterde toestandinspectie en het betrekken van een architect en bouwbedrijf.

Het meest realistische scenario maakt gebruik van het relatief nieuwe staal en levert ook dan een grote winst op ten opzichte van het nul-scenario. Het is interessant om in een gesprek met ProRail te kijken naar concrete mogelijkheden voor hergebruik van de fietsbrug.

In bovenstaande vergelijking is aangenomen dat het nul-scenario kostenneutraal wordt uitgevoerd. Echter Rijkswaterstaat verwacht dat ook voor het nul-scenario kosten gemaakt gaan worden, omdat de opbrengsten van het staal door de lage staalprices niet opwegen tegen de kosten van de sloop. Dit betekent dat de besparing in de hergebruikscenario's nog positiever zal uitvallen dan nu is berekend, doordat bij hergebruik de (meer)kosten voor het sloop scenario (deels) komen te vervallen.

5.5 CO₂-besparing uitgedrukt in transportafstand

De bestemming van de hergebruikscenario's is in principe onbekend, met uitzondering van scenario 1. Om toch een orde-grootte gevoel te krijgen, is uitgerekend hoever de materialen kunnen worden getransporteerd voordat de CO₂-besparing ten opzichte van het nul-scenario te niet wordt gedaan:

- scenario 1 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met het fietsgedeelte van de brug (inclusief vier betonnen liggers) 21.825 km af te leggen;
- scenario 2 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met de gehele brug, inclusief aanbruggen 22.587 km af te leggen;
- scenario 3 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met ieder los element in totaal 23.103 km af te leggen.

Deze afstanden zijn vergelijkbaar met het overvaren van de helft van de wereld. Voor de berekening is uitgegaan van de CO₂-uitstoot die binnenvaartschepen hebben in Nederland, waarmee de brugdelen waarschijnlijk worden vervoerd. Deze hebben een hoogte van 0,03 ton CO₂ per ton km¹.

¹ Lijst Emissiefactoren, Goederenvervoer, CO₂ emissiefactoren, januari 2017.

6

LEERERVARINGEN EN DISCUSSIE

In dit hoofdstuk zijn de leerervaringen die zijn opgedaan bij de uitvoering van dit onderzoek beschreven voor een bredere toepassing binnen Rijkswaterstaat en het Rijksbrede Programma Circulaire Economie.

6.1 Algemeen: mindshift van nieuwbouw naar hergebruik

De algemene tendens binnen de GWW is nieuwbouw, zeker als het gaat om kunstwerken zoals bruggen. Dit kwam telkens naar voren in alle gesprekken in kader van dit onderzoek. In eerste instantie ziet geen van de raadgepleegde experts voordeel in hergebruik van de brug, simpelweg omdat nieuwbouw zekerheid geeft en hergebruik van materialen leidt tot onzekerheid, en dus de perceptie van meer risico's en hogere kosten. Als we wat langer stilstonden bij de casus, werd de houding ten opzichte van hergebruik positiever. Een aantal overwegingen die het veronderstelde beeld deden bijdraaien zijn:

- 1 de brug is buiten gebruik gesteld en niet afgekeurd in verband met technische gebreken;
- 2 de conditie van het staal en beton lijkt op het eerste gezicht goed;
- 3 er is veel ervaring met het bepalen van de restlevensduur van constructies en maatregelen voor het verlengen van de levensduur;
- 4 de inspanning die geleverd moet worden om de brug conventioneel te slopen ten behoeve van recycling van grondstoffen (staal) en secundaire bouwstoffen (betongranulaat) lijkt op het eerste gezicht vergelijkbaar als voor demontage voor hergebruik. Immers de brug moet in ieder geval in delen worden verwijderd en in het kader van veiligheid en overlast zal dit ook in het sloop scenario zorgvuldig moeten gebeuren en zal de verdere ontmanteling vermoedelijk op een hiervoor ingerichte werf moeten plaatsvinden;
- 5 er zijn de afgelopen 15 jaar stalen bruggen gebouwd met een vergelijkbare overspanning en een vergelijkbaar aantal rijbanen. Hergebruik in een concrete casus was dus mogelijk geweest;
- 6 er is een concrete behoefte aan een fietsbrug met vergelijkbare overspanning en constructie in de nabije omgeving.

De eerste drie overwegingen gaan over risico's met betrekking tot de kwaliteit van het materiaal, en dus wat de restlevensduur is. De experts stelden hun mening ten gunste van hergebruik in positieve zin bij toen zij beseften dat deze brug enerzijds nog voldoende draagcapaciteit heeft en anderzijds technisch gezien uit elkaar te halen is en weer is op te bouwen (dit is in 1948 ook al gebeurd). Waarom zou de brug dan niet op een andere plaats weer in een goede conditie nog kunnen functioneren?

De vierde overweging die de experts hebben, gaat over het risico dat hergebruik duurder is doordat demontage meer tijd kost en materialen moeten worden gerenoveerd voordat ze kunnen worden hergebruikt. De vijfde en zesde overweging zijn gebaseerd op de aanname dat ieder ontwerp uniek is, waardoor er toch geen mogelijkheden zijn voor hergebruik.

Samenvattend kan je concluderen dat onderzoek naar hergebruik van materialen draait om het wegnemen van risico's ten opzichte van nieuwbouw. Met andere woorden, van een object of materiaal moet die informatie worden verzameld en vastgelegd (bijvoorbeeld in een materialen paspoort) waarmee de risico's van hergebruik worden weggenomen, of zijn te rechtvaardigen.

6.2 Informatievergaring ten behoeve van de inventarisatie naar de mogelijkheden van hergebruik

Beschikbare informatie

De (oude) ontwerptekeningen waren zeer bruikbaar voor diverse experts om een eerste indruk te krijgen van de brug. Ook de globale massabalans was bruikbaar voor eerste indicatie van hoeveelheden. De meest relevante informatie die ontbrak, was de informatie over de feitelijke bouwmethode van de brug. Oorspronkelijke ontwerpdocumenten zijn ook noodzakelijk om het draagvermogen en daarmee de hergebruikmogelijkheden te kunnen vaststellen. Deze informatie is van belang omdat dit veel inzicht geeft over op welke wijze de brug is te demonteren. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat een kunstwerk op dezelfde wijze wordt ontmanteld als deze is gebouwd. Andere relevante historische informatie die ontbrak is de materialisatie. Dus een gedetailleerd inzicht in materialen die zijn toegepast. Andere informatie die ontbrak was informatie over schade aan de brug als gevolg van het bombardement tijdens WOII en de renovatie hiervan.

Visuele inspectie en gebruik van de NEN2767-1

Het was verrassend om te zien hoeveel relevante informatie en bruikbare indicaties verkregen zijn over de hergebruikmogelijkheden van de constructie en losse materialen tijdens een visuele inspectie. De NEN2767-1 biedt een gestructureerde manier om de conditie van de brug en losse elementen op een gestructureerde manier te beoordelen. Aan de standaard inspectie kunnen eenvoudig een aantal criteria worden toegevoegd die relevant zijn voor hergebruik, zoals bevestiging en mate van demontabelheid, standaardisatie en voldoen aan wet- en regelgeving (ontwerp, milieu, arbo en gezondheid). Voor deze criteria zouden net als nu voor de conditiemeting een aantal vooraf bepaalde scoringsmethodieken kunnen worden uitgewerkt, waardoor de bepaling van hergebruikwaarde van materialen op een gestandaardiseerde en reproduceerbare wijze kan worden vastgesteld. De inschatting is dat dit dan met een relatieve beperkte inspanning kan worden meegenomen in reguliere inspecties.

Een belangrijk aandachtspunt is dat deze NEN2767-1 gericht is op de beoordeling van losse elementen van een constructie. Hergebruik van hoofdonderdelen (combinaties van elementen), zoals een fietsbrug als geheel, wordt hierdoor niet specifiek meegenomen. Hiervoor moet dus ook apart aandacht komen.

Nader onderzoek restlevensduur materialen

Op basis van de visuele inspectie lijkt de conditie van het staal en beton bij de boogbrug goed. Echter, om harde uitspraken te doen over de restlevensduur is nader onderzoek nodig. Dergelijk onderzoek is gangbaar in het kader van asset management en hiermee kunnen betrouwbare indicaties worden gekregen over de (rest)levensduur. Het risico over de conditie van de materialen en de restlevensduur kan dus hiermee in belangrijke mate worden weggenomen. Dergelijk onderzoek is dus essentieel om de mogelijkheden en kosten voor hergebruik reëel en met meer detail in te kunnen schatten.

Marktonderzoek

In kader van dit onderzoek is door de beperkte doorlooptijd en geheimhouding geen actief onderzoek uitgevoerd naar mogelijkheden om de brug of losse materialen concreet her te gebruiken in andere projecten. Het hebben van concreet uitzicht op hergebruikmogelijkheden van een materiaal in een ander project is cruciaal om eventuele extra investeringen en inspanningen - of anders gezegd de (extra) risico's van hergebruik - te rechtvaardigen. Zoals al opgemerkt in paragraaf 6.1 heeft het hebben van een concreet uitzicht op een mogelijkheid voor hergebruik motiverend gewerkt om de kansen voor hergebruik te onderzoeken. De verwachting is dat de opslag van materialen in een depot voor onbepaalde tijd geen reële optie is, omdat deze kosten moeilijk zijn te rechtvaardigen, tenzij het gaat om materialen die nieuw staat verkeren en zeer gangbare (standaard) maatvoering hebben.

Voor grotere en specifieke constructies zoals een brug zal dus al voordat deze wordt gesloopt bij voorkeur de nieuwe toepassing bekend moeten zijn. Dit betekent dat zal moeten worden toegewerkt naar een fictieve online marktplaats waarin nationale en regionale asset management programma's (beheer, onderhoud) wordt gekoppeld aan programma's voor nieuwbouw en renovatie. In een ontwerpopgave kan een

architectenbureau of ingenieursbureau zodoende inzicht worden gegeven in de beschikbare materialen, met daarbij de eis om een bepaald percentage daadwerkelijk in te passen in een nieuw ontwerp.

6.3 Bepaling van duurzaamheidwinst en kosten van varianten

'Product voor product'

In dit onderzoek hebben wij ons gericht op de hoogst mogelijk manier van hergebruik, namelijk 'product voor product'. Dit betekent dat er in principe geen waardeverlies optreedt van het materiaal. Deze vorm van hergebruik leidt per definitie tot duurzaamheidwinst ten opzichte van nieuw bouw met eindige (niet hernieuwbare) grondstoffen. En is bijvoorbeeld ook duurzamer dan recycling, omdat hier energie voor nodig is en waardeverlies optreedt in geval van toepassing als een secundaire grondstof. Twee belangrijke uitgangspunten hierbij zijn:

- 1 dat hergebruik plaatsvindt voor dezelfde functie en dat er geen vergelijkbare constructie mogelijk is met veel minder materiaalgebruik of met hernieuwbare grondstoffen;
- 2 dat bij recycling geen waardeverlies optreedt (geen downcycling) en volledig plaatsvindt op basis van hernieuwbare energie.

Dus 'product voor product' kan worden gehanteerd als leidende principe bij hergebruik van materialen, maar hierbij zullen de bovenstaande uitgangspunten in ogenschouw moeten worden genomen. En andersom geredeneerd, zullen bij ontwerp en bouw van een nieuw object de mogelijkheden voor hergebruik van materialen altijd vergeleken moeten worden met alternatieven zoals gebruik van hernieuwbare grondstoffen of het gebruik van gerecycleerde grondstoffen.

Bepaling duurzaamheidwinst en kosten

Voor de bepaling van duurzaamheidwinst en kosten is gekozen voor een pragmatische aanpak, waarbij is gekeken naar de relatieve verschillen van de hergebruikscenario's met de conventionele sloop en recycling van materialen. Deze aanpak sluit aan bij een kwalitatief onderzoek gericht om een eerste indicatie te krijgen van de mogelijkheden voor hergebruik en eventuele winst in relatie tot duurzaamheid en kosten.

De eerste inschatting van de duurzaamheidwinst en kosten van hergebruik laten zien dat deze scenario's leiden tot een significante besparing van CO₂-emissies en ook leiden tot een besparing van kosten. Twee belangrijke uitgangspunten hiervoor zijn dat een geschikt en concreet project wordt gevonden waar onderdelen van de brug of de brug in zijn geheel kunnen worden hergebruikt en dat de restlevensduur voldoende is hergebruik te rechtvaardigen. Voor het bepalen van de duurzaamheidwinst van hergebruik is het belangrijk dat, zoals eerder genoemd, hergebruik plaatsvindt voor dezelfde functie en dat er geen vergelijkbare constructie mogelijk is met veel minder materiaalgebruik of met hernieuwbare grondstoffen. Dus zodra er concreet zicht is op een hergebruikmogelijkheid zal dit aanvullend onderzocht moeten worden om de feitelijke impact te kunnen bepalen.

In dit onderzoek is CO₂-emissie gebruikt als indicator voor milieu-impact, omdat dat dit een gangbare en breed geaccepteerde indicator is. Echter, dit is een sterke vereenvoudiging van de werkelijkheid, want er zijn veel meer milieueffecten, zoals het verlies van biodiversiteit of ecosysteemdiensten. In het veelgebruikte LCA-impactmodel ReCiPe worden naast de opwarming van de aarde (global warming) nog zestien andere milieu-impacts meegenomen in de impact berekening. Echter, de verwachting is dat CO₂-emissie wel een dominante impact factor is en daarom geschikt is om te gebruiken voor een eerste indicatie van duurzaamheidwinst. Daarbij laat een eerste grove screening zien dat voor juist activiteiten gericht op recycling en refurbishment van materialen er relatief weinig kentallen beschikbaar zijn in ReCiPe.

Naast planet (CO₂-emissies) en profit (kosten) is 'people' de derde pijler van duurzaamheid. Deze pijler is niet expliciet meegenomen in dit onderzoek, behalve dat wel milieu, arbo en gezondheid als criterium voor hergebruik is meegenomen. Een mogelijk relevant aspect is dat hergebruik van materialen kan leiden tot extra werkgelegenheid, omdat demontage en renovatie vaak arbeidsintensieve activiteiten zijn die vakmanschap vereisen. Echter, dit effect zal pas optreden als er structureel over een lange periode

significante hoeveelheden objecten worden hergebruikt. Naast de aanbodbkant dient hierbij ook de vraagkant, ofwel het toepassen van oude materialen in nieuwe ontwerpen, ontwikkeld te worden.

6.4 Circulair ontwerp

In dit onderzoek is niet specifiek aandacht geweest voor circulair ontwerpen, toch zijn hierover wel enkele leerpunten naar voren gekomen:

- de constructie van boogbrug is lastig te demonteren en her te gebruiken door het gebruik van klinknagels die zijn versmolten en staalsoort die niet lasbaar is. Dit maakt hergebruik lastig, maar niet onmogelijk;
- de fietsbrug en fietsaanbrug is goed in elementen te demonteren en hiervan zou je kunnen stellen dat de hiervoor gehanteerde ontwerp en constructiemethode vanuit circulair oogpunt best in orde is;
- een stalen draagconstructie lijkt op het eerste gezicht vanuit oogpunt van demontage en transport (geringe massa) geschikter voor hergebruik dan een betonnen draagconstructie. Echter, om te bepalen of staal vanuit het oogpunt van duurzaamheid ook prefereert ten opzicht van beton zal nader onderzocht moeten worden met behulp van levenscyclusanalyses van diverse constructies;
- de brugpijlers zijn in het huidige ontwerp niet her te gebruiken. In het ontwerp van brugpijlers ligt een nog uitdaging om deze circulair(der) te ontwerpen.

7

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

In dit onderzoek zijn de mogelijkheden van hergebruik van de brug bij Vianen onderzocht. Aan de hand van een visuele inspectie is een eerste indicatie gekregen van de conditie van de brug en de mogelijkheden voor hergebruik. De conditie van de hoofddraagconstructie van de boogbrug, fietsbrug en van de aanbruggen lijkt op het eerste gezicht goed. De corrosie van het staal in hoofddraagconstructie is $< 1\%$ en ook de blootliggende wapening in de betonnen draagconstructie van de fietsaanbrug is $< 1\%$. Voor het bepalen van de restlevensduur zal nader onderzoek moeten worden uitgevoerd om deze in meer detail met meer precisie te kunnen bepalen. De eerste indruk is echter dat er voldoende resterende levensduur beschikbaar is om hergebruik te rechtvaardigen.

De mogelijkheden voor hergebruik zijn onderzocht aan de hand van drie scenario's. Deze drie scenario's zijn vergeleken met conventionele sloop en recycling van vrijkomende materialen (het referentiescenario ofwel nul-scenario). De verwachting is dat de inspanning voor de conventionele sloop van de brug vergelijkbaar is met de inspanning voor demontage voor hergebruik. Immers de brug moet in ieder geval in delen worden verwijderd en in het kader van veiligheid en overlast zal dit ook in het sloopsценario zorgvuldig moeten gebeuren en zal de verdere ontmanteling vermoedelijk op een hiervoor ingerichte werf plaatsvinden.

Scenario's voor hergebruik

Het meest kansrijke scenario is hergebruik van de stalen fietsbrug en een deel van de betonnen fietsaanbrug. De conditie van de stalen fietsbrug en de betonnen aanbruggen lijkt op het eerste gezicht goed en de constructie is relatief eenvoudig te demonteren en op te delen in delen van 40 meter. Daarbij lijkt er een concrete mogelijkheid voor hergebruik te bestaan. ProRail werkt aan de uitbreiding van de spoorbrug bij Culemborg. Deze spoorbrug heeft dezelfde overspanning en ook de dwarsverbindingen van de hoofddraagconstructie zijn van een vergelijkbare maatvoering, waardoor de fietsbrug mogelijk zonder noemenswaardige aanpassingen aan de fietsbrug kan worden bevestigd. Het staal van de fietsbrug is lasbaar, waardoor montage en bevestiging met gangbare methoden kan worden uitgevoerd.

Het tweede scenario gaat uit van hergebruik van de gehele boogbrug (inclusief fietsbrug). Dit is het meest optimale scenario, omdat hierbij zoveel als mogelijk materialen worden hergebruikt. Hergebruik van de brug als geheel is helaas niet eenvoudig. De boogbrug is opgebouwd uit stalen platen die met elkaar zijn verbonden met versmolten klinknagels, en het staal is naar verwachting niet lasbaar. Verder is de grootste uitdaging om een concrete locatie te vinden waar op dit moment een brug met een dergelijk afmeting gepland is. Wel zijn er de afgelopen 15 jaar stalen bruggen gebouwd met een vergelijkbare overspanning en een vergelijkbaar aantal rijbanen. Dit betekent dat indien er vanaf 2004 actief gezocht was naar hergebruiksmogelijkheden, er naar verwachting voldoende kansen voor het hergebruik van de totale brug waren geweest.

Als derde variant is een alternatief scenario uitgewerkt, waarbij is gekeken welke losse materialen zijn her te gebruiken als constructiemateriaal in gebouwen. Dit scenario zou interessant kunnen zijn als hergebruik als brug niet lukt, omdat geen geschikte locatie kan worden gevonden op korte termijn. Er zijn stalen en betonnen profielen die overeenkomen met de afmetingen, die voor de constructie van gebouwen worden gebruikt.

In samenspraak met een architect en bouwbedrijf zouden de mogelijkheden voor hergebruik verder onderzocht kunnen worden van deze constructiematerialen. Een gespecialiseerd architectenbureau zou het een uitdaging kunnen zijn om onderdelen van de boogbrug op verantwoorde wijze een nieuwe functie te geven (en dit geldt ook voor Witteveen+Bos).

Duurzaamheidwinst en kosten

Alle drie de scenario's leiden tot een significante besparing in kosten en CO₂-emissies. Het hergebruik van de totale brug (scenario 2) levert de grootste winst in euro's als in besparing van CO₂ doordat in dit scenario de grootste hoeveelheden aan staal en beton worden hergebruikt. Het gaat om een fictieve besparing in kosten en CO₂-emissies door hergebruik van materialen in een nieuw te bouwen object. Om deze besparingen ten gelden te maken zal dus een concrete casus beschikbaar moeten zijn en zal met initiatiefnemer van nieuw bouw hier afspraken overgemaakt moeten worden.

Overigens kan de kostenbesparing in praktijk nog groter uitvallen omdat Rijkswaterstaat verwacht dat in het nul-scenario de kosten voor de sloop hoger zijn dan de opbrengsten van het staal. In de vergelijking van de scenario's is aangenomen dat het nul-scenario kostenneutraal uitgevoerd kan worden. In tabel 7.1 is een overzicht gegeven van de uitkomsten van de verschillende scenario's op hoofdlijnen:

Tabel 7.1 Overzicht uitkomst verschillende scenario's

Beschrijving variant	Baten door middel van besparingen (EUR)	CO ₂ -uitstoot bespaard (kg CO ₂ equivalenten)
variant 0	geen kosten- of CO ₂ berekend, alleen kwalitatief beschreven	
scenario 1 - hergebruik van de fietsbrug	2.304.550,00	995.200
scenario 2 - hergebruik van de totale brug	16.134.225,00	9.569.040
scenario 3 - hergebruik van de elementen	4.560.960,00	3.490.838

Verder is om een ordegrrootte gevoel te krijgen berekend hoever de materialen kunnen worden getransporteerd voordat de CO₂-besparing ten opzichte van het nul-scenario te niet wordt gedaan:

- scenario 1 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met het fietsgedeelte van de brug (inclusief vier betonnen liggers) 21.825 km af te leggen;
- scenario 2 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met de gehele brug, inclusief aanbruggen 22.587 km af te leggen;
- scenario 3 - in dit scenario wordt genoeg CO₂ bespaard om met ieder los element in totaal 23.103 km af te leggen.

Deze afstanden zijn vergelijkbaar met het overvaren van de helft van de wereld met een binnenvaartschip. Deze indicatieve berekening laat zien dat ook internationaal zou kunnen worden gekeken naar mogelijkheden voor hergebruik van de brug.

7.2 Hypothesen

7.2.1 Decompositie

Hypothese: de decompositie zoals voorgeschreven in de NEN-2767-1 is geschikt om kansen voor hergebruik van toegepaste materialen te inventariseren.

De decompositie in verschillende onderdelen conform de NEN-2767-1 is gedetailleerd en heeft eveneens een gedetailleerd overzicht gegeven van de verschillende elementen en het materiaal dat erin is gebruikt. Aan de standaard NEN-inspectie kunnen eenvoudig een aantal criteria worden toegevoegd die relevant zijn

voor hergebruik, zoals de bevestigingswijze en de mate van demontabelheid, standaardisatie en voldoen aan wet- en regelgeving (ontwerp, milieu, arbo en gezondheid). Het is interessant om in een decompositie informatie op te nemen van de hoofdonderdelen op een abstracter niveau, zodat deze in zijn geheel uitgenomen kunnen worden. Zo worden hergebruikmogelijkheden gefaciliteerd.

De hypothese wordt aangenomen, ervan uitgaande dat deze aangevuld wordt met een aantal andere beoordelingscriteria gericht op hergebruik.

7.2.2 Mogelijk van hergebruik

Hypothese: De mogelijkheden voor hergebruik van elementen worden bepaald door hun (1) mate van demontabelheid, (2) ontwerpeisen en (3) milieu en veiligheid, standaardisatie en conditie.

Deze hypothese is in delen aangenomen:

In de hergebruikscenario's is gekeken naar het hergebruik van de hoofdonderdelen en elementen. In ieder geval is hierbij de mate van demontabelheid van belang en daarnaast de ontwerpeisen van de nieuwe functies en tot slot de conditie van de hoofdonderdelen of elementen. Standaardisatie is alleen van belang op het moment dat elementen uit de brug afzonderlijk worden gebruikt.

Deze hypothese wordt daarom grotendeels aangenomen.

7.2.3 Hergebruik: duurzamer dan recycling?

Hypothese: Hergebruik van een element of materiaal als product is duurzamer dan recycling en gebruik als secundaire bouwstof.

De vergelijking van scenario's laat zien dat het hergebruik van materialen veel minder CO₂-uitstoot oplevert dan wanneer het materiaal wordt gerecycled. Bovendien levert hergebruik aanvullende lokale werkgelegenheid op en is er naast een CO₂-besparing ook een financieel voordeel aanwezig.

Deze hypothese wordt daarom aangenomen.

7.2.4 CO₂-reductie als indicator

Hypothese: CO₂-reductie is een geschikte indicator voor bepalen van duurzaamheidwinst van hergebruik van materialen.

CO₂ is een alom geaccepteerde indicator om de milieubelasting te bepalen. Tevens is deze indicator voornamelijk voor energie-intensieve processen en materialen van toepassing, zoals transport en de metaal- en staalindustrie.

Deze hypothese wordt aangenomen.

7.3 Aanbevelingen

Boogbrug Vianen:

- wij raden aan met ProRail in gesprek te gaan over hergebruik van de fietsbrug bij de spoorbrug van Culemborg, omdat dit scenario op korte termijn het meest kansrijk wordt geacht. Hiervoor zal nader onderzoek moeten worden uitgevoerd naar de huidige conditie en restlevensduur van de draagconstructie van de fietsbrug en fietsaanbrug. Als op korte termijn geen uitsluit is te krijgen over deze hergebruikmogelijkheid, adviseren wij om hergebruik van de fietsburg als optie op te nemen in de contractdocumenten. Zo kan op een later tijdstijd hergebruik mogelijk alsnog plaats vinden;
- hergebruik van de brug als geheel (scenario 2) levert de grootste besparing op in kosten en duurzaamheidwinst. Echter, het is op dit moment niet in te schatten of er op korte termijn hiervoor een kans voordoet;
- het hergebruik van de losse elementen achten wij het meest kansrijk op de korte termijn. Wij bevelen aan om een marktonderzoek hierna onderdeel te laten zijn van de tender en hergebruik van losse elementen te waarden in de EMVI. Overigens is waardering in de EMVI wel een aandachtspunt, want hergebruik van elementen zal moeten worden gewaardeerd en verrekend op basis van daadwerkelijk gerealiseerd hergebruik van elementen en niet op basis van voornemen of belofte. Verder zal nader bekeken moeten worden hoe hergebruik van losse elementen gewaardeerd en verrekend moet worden omdat hergebruik sowieso tot een kostenbesparing kan leiden voor een aannemer (zie scenario 3).

Algemeen:

- voor verdere toepassing van hergebruik van materialen binnen de GWW raden wij aan om het inventariseren van kansen en belemmeringen voor hergebruik onderdeel te maken van de standaard inspectie. Als de inspectie ten behoeve van hergebruik wordt gestandaardiseerd vergelijkbaar als de NEN2667-1 voor de conditiemeting van de gebouwde omgeving, dan kan met een relatieve beperkte inspanning op een gestructureerde wijze informatie worden vastgelegd om hergebruik te faciliteren;
- om te komen tot hergebruik van constructies en materialen in de GWW is een mindshift nodig. De overheersende gedachte is dat hergebruik van materialen alleen maar leidt tot onzekerheid, en dus tot meer risico's en hogere kosten. Om deze mindset te doorbreken, zal meer onderzoek gedaan moeten worden naar hergebruik van materialen. Daarnaast zal ook experimenteerruimte geboden moeten worden, waardoor men eerder geneigd is om een risico te nemen en voorbeelden aan de markt getoond kunnen worden;
- ook zal hergebruik van materialen moeten worden gewaardeerd in EMVI in sloop projecten, maar vooral ook in aanbestedingen van nieuw te bouwen objecten omdat in nieuwbouw de daadwerkelijkere kosten- en CO₂-besparing optreedt. In de EMVI van nieuw bouw projecten zal dus nadrukkelijk waardering moeten worden opgenomen om het gebruik van Een initiatiefnemer van de sloop van een object zal dus proactief op zoek moeten naar potentiële hergebruikmogelijkheden;
- verder bevelen wij aan om ontwerpende architecten of ingenieursbureaus onderzoek te laten uitvoeren naar de architectonische mogelijkheden van hergebruik van constructies en materialen, om zodoende ook de vraagkant verder te ontwikkelen en te stimuleren.

Bijlage(n)

I

BIJLAGE: OVERZICHTFOTO'S















II

BIJLAGE: MASSABALANS

Hoeveelheden boogbrug Vianen:

	Hoeveelheid	Opmerkingen
Hoofdoverspanning (Boogbrug)		
Boog staal (excl fietspaden)	3.001.300 kg	hoeveelheid ahv herberekening 1980
Fietspaden staal		
Betonnen dek	1.212.800 kg (485 m ³)	hoeveelheid ahv herberekening 1980
Aanbruggen		
Aanbruggen staal	4.100.800 kg	hoeveelheid ahv herberekening 1980
Betonnen dek	5.800.000 kg (2.522 m ³)	hoeveelheid ahv berekening Ton
Pijlers: 6 st (3 varianten)		
Scope: Beton, pijlers verwijderen tot 1 m - maaiveld	8.258.000 ton (3.590 m ³)	25,54*(7,15+6,85+8,00+7,20+4,75+5,10)*3,6 (pijler C is dan tot bovenkant poer verwijderd)
Variante 1: Beton, pijlers verwijderen tot poer	9.347.000 ton (4.064 m ³)	25,54*(7,75+8,60+8,00+7,50+6,60+5,75)*3,6
Variante 2: Beton, pijlers incl poer en werkvloer verwijderen	14.410.000 ton (6.265 m ³ : 2.201+4.064)	poer en werkvloer: 6*21,84*8,4*2,0 (uitbreiding pijlers alleen op heipalen) + hoeveelheden variante 1

III

**BIJLAGE: DECOMPOSITIE HOOFDBRUG, DECOMPOSITIE FIETSBRUG, OVERZICHT
INVENTARISATIE HERGEBRUIK MOGELIJKHEDEN GECOMBINEERDE ELEMENTEN
FIETSBRUG**

Decompositie fietsbrug

Decompositie hoofdbrug



1. RI onderdeel	2. IS onderdeel	3. Materiaal	4. Gebruik	5. Beweging	6. Standard bouwstof? Ja/nee	7. Voldoet element nog aan universele norm en veregelijking voor de huidige functie	8. Voldoet element nog aan de normen omtrent veiligheid en gezondheid	9. Keuze	10. Samenstellingen	11. Opmerkingen	12. Hergebruik-mogelijkheid	13. Begeenmerging	14. Advies onder onderzoek
grijsbetonstructuur	Gedetail	staal	duplexstelsysteem erde levensduur corrosie uniform ca 50%	demontabel bouwverbindingen	ja	slurpgraten vullen met meer aan wet en regelgeving	ja				rae materiaal	voelbaar met meer aan wet en regelgeving de mate van corrosie zorgt voor een onvoldoende resterende levensduur. Hergebruik mogelijk niet op tegen de kosten van demontage en montage	geen
grijsbeton		staal	conservatie endlaag leuning erde levensduur corrosie uniform ongeveer 20%	demontabel bouwverbindingen	ja	slurpgraten vullen met meer aan wet en regelgeving	ja				rae materiaal	voelbaar met meer aan wet en regelgeving de mate van corrosie zorgt voor een onvoldoende resterende levensduur. Hergebruik mogelijk niet op tegen de kosten van demontage en montage	geen
herenautarkleur algemeen		kunststof PVC staal	break < 1%	gevoelig voor demontabel Bereikbaarheid onderzijde beugel met bouwverbinding	ja	riks wordt tegemoetkoming afgevoerd naar toel	ja		incourante maten		beugel rae materiaal pvc rae materiaal	incourante maten	geen
herenautarkleur algemeen		staal	geen	leuning	nee	PWA wordt tegemoetkoming afgevoerd naar toel	ja	ja	vervallen stalen buizen is arbeidsintensief		rae materiaal	De kosten van vervangen wegen niet op tegen het hergebruik	onderzoek bood- en/of naar houdende conservatie
goot		stijlslag	kale plekken < 10%	verfijnd	nee	ja	ja		verfijnd op betonnen ondergrond		secondary material	zal samen met de onderliggende beton gebruikt worden	geen
hoofdbrug constructie beton	langsligger	beton	afgeplate beton met blootliggende wapening < 1%	vast gevoel beton	nee	ja	ja		een gestort geheel met dek en dwarsliggers		beton secondary material wapening raemateriaal	niet afzonderlijk te demonteren	geen
dwarsligger		beton	geen gebreken waargenomen	vast gevoel beton	nee	ja	ja		een gestort geheel met dek en langsliggers		beton secondary material wapening rae materiaal	niet afzonderlijk te demonteren	geen
hoofdbrug constructie staal	dwarsligger / consol	staal	corrosie uniform < 1%	afgeplaat demontabel bouwverbinding	nee	ja	ja	ja	specifieke maatvoering		product rae materiaal	in combinatie met het ontstope dek her te gebruiken bij andere stalen bruggen specifieke maatvoering	onderzoek bood- en/of naar houdende conservatie onderzoek leedbaarheid materiaal onderzoek vermoeding staal
leuning	leuning algemeen	staal	corrosie uniform < 1% toplaag duplexstelsysteem erde levensduur	demontabel bouwverbinding	ja	nee, leuning overkuisbaar	nee, leuning overkuisbaar	toekomst kan gebruikt worden voor niet operabele schoupaalmen			product (schoupaal, met overlaar) rae materiaal	toekomst kan gebruikt worden voor niet operabele schoupaalmen	geen
opslagring	opslagring algemeen rubber	rubber	geen gebreken waargenomen	vast verfijnd	nee	ja	ja		opslagring worden per kunstwerk berekend Niet is houdbaar om opslagring te vervangen (brugdekken op-pakken, etc.) (vanaf bouwhoogte is het onvoldoende rubber opslagring niet her te gebruiken		waars materiaal	opslagring bestaan uit verschillende materialen. Het scheiden van deze materialen is arbeidsintensief	geen
rijdek	rijdek beton	beton	geen relevante gebreken waargenomen	vast gevoel	nee	ja	ja		een gestort geheel met dwars- en langsliggers		beton secondary material wapening raemateriaal	niet afzonderlijk te demonteren	geen
rijdek	rijdek staal	staal	corrosie uniform < 1%	afgeplaat gevoel	ja	ja	ja	ja			product	Dekken kunnen in delen van 40 meter gedemonteerd en (over schijf) vervoerd worden	onderzoek bood- en/of naar houdende conservatie onderzoek vermoeding staal
schoupaalmen	schoupaalmen algemeen beton	beton	geen relevante gebreken waargenomen	gevoel	nee	ja	ja		een gestort geheel met dek		beton secondary material wapening raemateriaal	niet afzonderlijk te demonteren	geen
schoupaalmen	schoupaalmen algemeen staal	staal	corrosie uniform ca 50%	gevoel aan ontstrop dek	ja	ja	ja	ja			product	Dekken kunnen in delen van 40 meter gedemonteerd en (over schijf) vervoerd worden	onderzoek bood- en/of naar houdende conservatie
steunpunt	steunpunt algemeen	beton	geen relevante gebreken waargenomen	gevoel	nee	ja	ja		niet te demonteren		beton secondary material wapening raemateriaal	niet te demonteren, niet in zijn geheel her te gebruiken	Beoordeling onderzoek naar afzonderlijk materiaal
kolonnen		beton	geen relevante gebreken waargenomen	gevoel	nee	ja	ja		verankerd aan steunpunt, niet te demonteren		beton secondary material wapening raemateriaal	niet te demonteren, niet in zijn geheel her te gebruiken	geen
wand		beton	geen relevante gebreken waargenomen	gevoel	nee	ja	ja		verankerd aan steunpunt, niet te demonteren		beton secondary material wapening raemateriaal	niet te demonteren, niet in zijn geheel her te gebruiken	geen
muurbus	muurbus algemeen	staal	geen gebreken waargenomen	demontabel beugel	ja	ja	ja		couvante maten neuvast		product rae materiaal	couvante maten nog bijna volledige levensduur	geen
tuin	tuin algemeen	beuultakken	geen gebreken waargenomen	demontabel staalwerk	ja	ja	ja		gevoel type bestrijding vis gestraal		product	gevoel type verharding, niet met cement afgevoerd	geen
verharding	stijlslag	stijlslag	kale plekken in stijlslag < 1%	verfijnd	nee	ja	ja		verfijnd aan betonnen ondergrond verfijnd aan ontstrop dek		secondary material waars materiaal	te arbeidsintensief om te scheiden wordt gebruikt samen met het beton moet verwijderd worden, kan niet met dek ongeproduceerd worden	geen
voegovergang	voegovergang algemeen	beton staal rubber	stijlslag ontbrekt	ingestort	nee	ja	ja		niet demontabel		beton secondary material staal rae materiaal rubber waars materiaal	niet demontabel	geen
voegovergang	voegovergang algemeen	staal	corrosie uniform > 80%	ingestort	nee	ja	ja		niet demontabel		staal rae materiaal	niet demontabel	geen

Overzicht inventarisatie hergebruik mogelijkheden gecombineerde elementen fietsbrug

Inventarisatie hergebruik fietsaanbrug



gecombineerd element:	betonnen brugdeel aanbrug fietspad en landbouwvoertuigen		
elementen:	geleideconstructie	staal	vervangen: niet geschikt voor hergebruik
	hemelwaterafvoer	kunststof	aanpassen: afvoer naar riool
	hoofddraagconstructie	beton	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoek restlevensduur
	leuning	staal	vervangen: niet geschikt voor hergebruik
	rijvloer	beton	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoek restlevensduur
	schamkant	beton	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoek restlevensduur
	verharding	slijtlaag	geschikt voor hergebruik na reparatie/onderhoud
	voegovergang	staal	geschikt voor hergebruik na vervanging rubber

lengte ca. 40 m1
breedte ca. 5 m1

belemmeringen: groot gewicht >200 ton
transport over water
specifiek gebruik door vaste afmetingen

nader onderzoeken: carbonatatie indringing
chloride indringing

Inventarisatie hergebruik stalen fietsbrug



gecombineerd element:	ortotroop dek op stalen dwarsliggers/consoles		
elementen:	hemelwaterafvoer	staal	aanpassen: afvoer naar riool
	hoofddraagconstructie	staal	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoeken
	leuning	staal	vervangen: niet geschikt voor hergebruik
	rijvloer	staal	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoeken
	schamkant	staal	geschikt voor hergebruik afhankelijk van nader onderzoeken
	verharding	slijtlaag	geschikt voor hergebruik na reparatie/onderhoud
	voegovergang	staal	geschikt voor hergebruik

lengte ca. 40 m1
breedte ca. 4 m1

belemmeringen: gewicht
transport over water
specifiek gebruik door vaste afmetingen

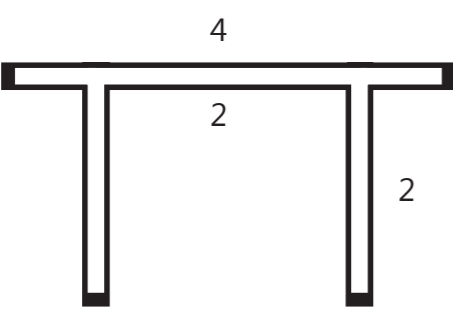
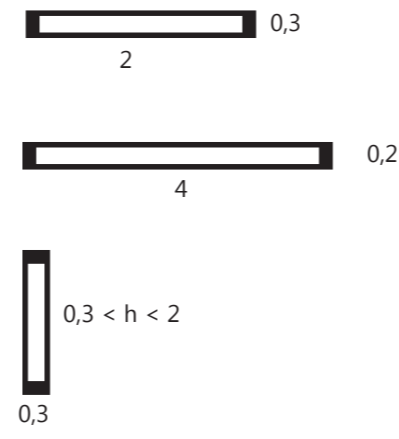
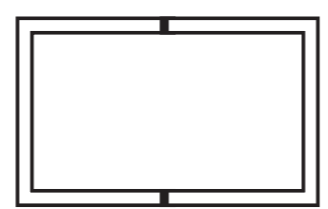


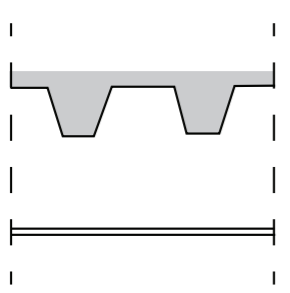
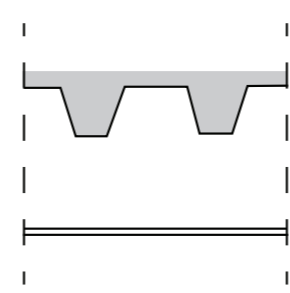
nader onderzoeken: aanwezigheid loodmenie of teerhoudende conservering
aanwezigheid vermoeiingsscheuren

IV

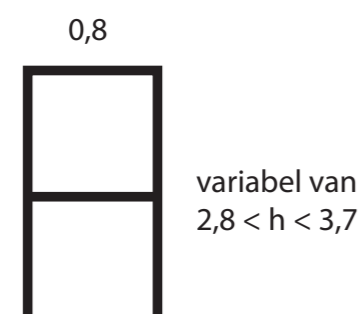
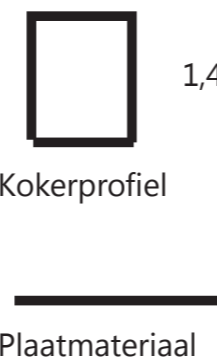
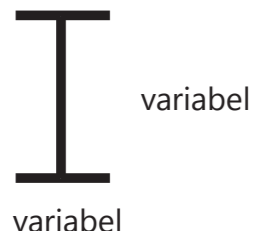

BIJLAGE: INVENTARISATIE EERSTE INSCHATTING ELEMENTEN DIE KUNNEN WORDEN HERGEBRUIKT ALS CONSTRUCTIEMATERIAAL IN GEBOUWEN









Boogbrug Vianen

Fietsbrug

Brug element	Architectonisch gebruik	Decompositie naar gebruik	Aandachtspunten
 <p>Betonnen parallelbrug</p>	<p>1. Vloerplaat en balken</p>		<p>De mogelijke overspanning is afhankelijk van verder onderzoek. vuistregel geeft $d = 1/22 * \text{lengte}$, geeft dat de overspanning ongeveer 6600 mm mogelijk is</p> <p>Restmateriaal kan verzaagd worden in balken, met een variabele hoogte tussen 0,3 en 2 meter</p>
	<p>2. T-ligger (eventueel verticale ondersteuning)</p>		<p>Met een T-ligger kan een grote overspanning worden bereikt net zoals met de brug is gedaan. Mogelijk gebruik is het overbruggen van grote overspanningen. Evenementenhal, kantoorruimte, grote zalen.</p> <p>De onderkant kan bijvoorbeeld verzaagd worden en gebruikt worden als kolom ter ondersteuning van de gevel o.i.d.</p>
	<p>3. Stabiliteitskernen gebouw Lift schacht en trappenhuis</p>		<p>Elementen gebruik t.b.v. stabiliteit van gebouwen, zoals een trappenhuis, ventilatieschachten, liftschacht.</p> <p>Aandachtspunt is de dikte van het huidige brugdek van 200mm. Hier dient onderzoek naar gedaan te worden of met deze dikte ook stabiliteit kan worden gegarandeerd.</p>
 <p>Fietsbrug console.</p>	<p>1. Constructief element; Ligger (ook uitkraging zoals console), geveldragend element, eventueel windverbanden en schoren.</p> <p>2. Geveldragende elementen.</p>		<p>De console elementen kragen momenten ongeveer 4 meter uit. Ten behoeve van het gebruik van deze elementen in bebouwing (kantoor e.d.) kunnen twee elementen samengesteld worden om een overspanning van 8 meter te bereiken. De staalkwaliteit van deze console elementen staat toe dat de elementen aan elkaar gelast kunnen worden.</p> <p>Een vergelijkbare ligger voor een dergelijke overspanning is ongeveer 0,5m hoog. (vuistregel: $1/15 * 8 = 0,5m$)</p>
<p>Rijdek staal (orthotrope samenstelling)</p> 	<p>Gebruiken als vloerplaat (vergelijkbaar aan een staalplaatbetonvloer)</p>		<p>Verzagen van het 40 m lange rijdek in elementen van 8 m is kansrijk. Dit in combinatie met de ondersteunende console constructie kan een generiek gebouw ontworpen worden met een maatvoering van 8 meter hart op hart. Deze optie verdient verdere bouwtechnisch onderzoek naar de haalbaarheid.</p>

Brug

 <p>Boogbrugconstructie (samenstelling van platen en koppelstukken)</p>	<p>1. Balken</p> <p>1. Kolomen</p> <p>2. Gevelmateriaal</p>	 <p>Kokerprofiel</p> <p>Plaatmateriaal</p>	<p>1. Koker element kan gebruikt worden t.b.v. balkconstructie in een staal gebouw. Gezien de maatvoering zal door hergebruik beduidende overdimensionering plaatsvinden van de elementen. Daarnaast is een koker als balkconstructie minder gunstig dan een HE profiel.</p> <p>2. Kokerelementen kunnen gebruikt worden als kolom. Gezien de maatvoering van de beschikbare kokerprofielen is het gebruik t.b.v. hoogbouw een geschikte optie, ongeveer 10 verdiepingen hoogte. Aandachtspunt is de methode van bevestigen aangezien de staalkwaliteit lassen niet toelaat en de kolommen ook door middel van een klinknagelcompositie samengesteld zullen worden.</p> <p>3. Bij een totale decompositie in staalplaten, kan het materiaal gebruikt worden als gevelbekleding.</p>
 <p>variabel</p> <p>variabel</p> <p>Samengestelde I profielen in de staalconstructie ter hoogte van de boog</p>	<p>1. Balk</p> <p>2. Kolom</p> <p>3. Stabiliteit (windverbanden en kernen)</p> <p>3. Gevelmateriaal</p>	 <p>I-profiel</p> <p>Plaatmateriaal</p>	<p>1. I profiel kan gebruikt worden als constructief element. Bij het gebruik van dit element als constructief onderdeel in een gebouw zal de overdimensioning hoogstwaarschijnlijk aanzienlijk zijn indien de overspanningen en krachten niet van een grote orde zijn. De balken in generieke gebouwen overspannen 5 à 8 m gemiddeld gezien. Dit komt er op neer dat de bruikbare profielen een hoogte hebben van 350 mm tot 550 mm.</p> <p>2. Het bovenstaande aandachtspunt geldt ook bij het hergebruiken van het I-profiel als kolom. Voor laagbouw zijn kolommen van ongeveer 300 mm hoogte bruikbaar. Voor middenbouw kolommen van 500 a 600 mm. Voor hoogbouw kolommen van 1200 mm.</p> <p>3. In de brug zijn ook kleinere elementen aanwezig, zoals de onderwindverbanden. Deze kunnen mogelijk dezelfde functie krijgen in een gebouw.</p> <p>3. Bij een totale decompositie in staalplaten, kan het materiaal eventueel gebruikt worden als gevelbekleding.</p>

		Gebruik als balk en haalbare overspanning	Gebruik als kolom en haalbare hoogte	Aandachtspunt
 <p>350 2100</p>	Dwarsdrager (boogbrug)	onrealistisch 31,0 m (2,1*15) In de praktijk de werkelijke overspanning korter zijn	onrealistisch	Profiel heeft veel "vrije" ruimte nodig bij het toepassen in bebouwing, daarnaast komen overspanning van 31,0 m niet vaak voor
 <p>120 300</p>	Trottoir langsligger	4,5 m (0,3*15)	mogelijke toepassingen in laagbouw en gevelconstructies	Element kan gebruikt worden bij uitkragingen zoals console constructies
 <p>550 500</p>	Trekverband	7,5 m (0,5*15)	Toepassing bij laag en middenhoogbouw	Element kan gebruikt worden bij uitkragingen zoals console constructies
 <p>300 500</p>	Rijvloer langsligger	7,5 m (0,5*15)	Toepassing bij laag en middenhoogbouw	
 <p>500 3300</p>	Rijvloer langsligger	onrealistisch 49,0 m (3,3*15)	Toepassing bij laag en middenhoogbouw	
 <p>350 1400</p>	Bovenwindverband Portaalbovenverband	niet vaak voorkomende overspanning: 21 m (1,4*15). De profielen zullen samengesteld moeten worden om deze lengte te bereiken	midden en hoogbouw. Vorm van het profiel is niet gunstig bij toepassing als kolom. Bijbehorende stramien zal erg rechthoekig moeten zijn.	Profiel heeft veel "vrije" ruimte nodig bij het toepassen in bebouwing, daarnaast komen overspanning van 21,0 m niet vaak voor. Eventuele gebouwen waar dit element toegepast kan worden hebben een verzamelfunctie, theaters en conferentiezalen.
 <p>200 300</p>	Windonderverband	4,5 m overspanning	Mogelijke toepassing als kolom bij laagbouw. Daarnaast biedt dit profiel ook potentie bij realiseren van gevelconstructies in combinatie met bijvoorbeeld glas.	
 <p>350 740</p>	Hangers portaal	10,5 m overspanning (0,7*15)	Mogelijke toepassing bij midden-hoogbouw.	

Gebruikte vuistregels

Staal:

Vloerbalk hoogten,

$$h = 1/15 \text{ à } 1/20 * \text{lengte}$$

Kolommen

$$b = 1/7 \text{ à } 1/18 * \text{lengte}$$

Betonconstructies

Vloerbalk:

$$h = 1/22 * \text{lengte}$$

